

実験用南極ホーバークラフトの運用と評価

村尾 麟一¹・竹内 貞男²・稲葉 稔³・細谷 昌之⁴

Operation and Evaluation of an Experimental Hovercraft for Antarctic Use

Rinichi MURAO¹, Sadao TAKEUCHI², Minoru INABA³ and Masayuki HOSOYA⁴

Abstract : In this report are reviewed the operating procedures and test results of an experimental hovercraft that was tested during 8 years at Japan's Syowa Station Antarctica.

A small size —2.8 t— experimental hovercraft was unloaded near Syowa Station in January 1981 and left there for testing of performance, maneuverability and maintenance requirements until it was decommissioned in February 1990.

The dominant environmental feature affecting reliable hovercraft operation was ingestion of snow into the engine. The ingestion of cooling air had to be restricted because snow clogged the air filters and blocked the engine radiator. To cross a tide crack, the crack had to be filled with snow before the craft was towed by a snow vehicle. This situation interfered with the simple operation and maintenance of the experimental hovercraft.

A test program was carried out to evaluate the maneuverability of this craft. It was found that the yaw response of this craft was very sensitive under certain ice conditions. Digital simulation of motion was attempted to understand the craft's response to steering.

The operation of the experimental hovercraft was evaluated from the viewpoint of support and survey for scientists' activities in the Antarctic. For this purpose, specifications of a hovercraft, parking and storage that are feasible at Syowa Station are proposed.

要旨: 本報告では、実験用南極ホーバークラフトの昭和基地における8年間の運用と経験が記述されている。

南極における輸送・交通手段としてのホーバークラフトの有用性を調査し、実用ホーバークラフト建造の技術データを得るために試作された2.8 t 実験用ホーバークラフトが1981年1月に昭和基地近くに揚陸され、1990年2月まで性能、操縦性、環境適応性、駐機・保管・整備に関する評価試験が行われた。

その結果、気象・地形に関する南極特有の環境下で運行・駐機・保管・整備上の艇の能力と限界が評価された。

ホーバークラフト運用信頼性に影響する主要な気象環境因子はエンジンに対する雪の吸い込みであって、エアフィルター・ラジエータに付着し出力低下と温度上昇をもたらす。地形環境的には基地と海水域の間に発生するタイドクラックの乗り越しに最も人手を要した。

¹ 青山学院大学. Aoyama-Gakuin University, 16-1, Chitosedai 6-chome, Setagaya-ku, Tokyo 157.

² 国立極地研究所. National Institute of Polar Research, 9-10, Kaga 1-chome, Itabashi-ku, Tokyo 173.

³ 三井造船株式会社. Mitsui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd., 6-4, Tsukiji 5-chome, Chuo-ku, Tokyo 104.

⁴ (株)大原鉄工所. Ohara Iron Works Co., Ltd., 1-5, Yushima 1-chome, Bunkyo-ku, Tokyo 113.

操縦試験の結果艇は摩擦の小さい氷上走行時に操舵応答に敏感で習熟に時間を要することが判明したので操縦特性の解明のためシミュレーションモデルを開発した。これらの経験に基づいて昭和基地付近の夏期の生物観測・氷状偵察・沿岸調査等観測支援活動に対する運用に適当なホーバークラフト機体・保管整備の仕様が提案されている。

1. ま え が き

本報告は1978年に開始され1991年に終了した実験用南極ホーバークラフトの計画・試作・性能試験・運用・総合評価をまとめたものである。計画開始後1982年2月までの経過については村尾ら(1985)が既に発表したもので、その後の運用経過を中心に報告するが、総合評価は本プロジェクト全体に関連しているので主要な項目については重複記載して引用の便を図りたい。図1に昭和基地付近で運用中の実験用南極ホーバークラフトを示す。

わが国の南極観測事業における物資輸送は最初海上保安庁「宗谷」により、1965年からは防衛庁「ふじ」によって担当されたが、昭和基地のあるリュツォ・ホルム湾は南極でも特に氷状の悪いところで、1975年当時基地への接岸が出来ず船から基地までの輸送をヘリコプターにのみ頼る事態がしばしば起こった。しかしヘリコプター輸送には重量物・長尺物の制約があるので、ホーバークラフトを利用して輸送力を増大する構想が1975年頃から国立極地研究所で検討された。即ち当時国内で既に実用化されていた50人乗り16.3t MVPP5級の能力を持つホーバークラフトならば上記の目的にかなう、しかも計画中の新砕氷船に搭載可能であると指摘された。

当時南極におけるホーバークラフトの本格的運用の実績はなかったが、1977年、R. THOMPSON (New Zealand) は Scott Base において Skimmer を用いて予備的な試験を行っ



図1 昭和基地付近の実験用南極ホーバークラフト

Fig. 1. Experimental hovercraft for the Antarctic MV-PP05A.

た。その試験の経験から THOMPSON は他の乗り物が走行できない薄氷、パドル、雪氷域においてホーバークラフトの有用性があることを指摘した。しかし理由は明らかでないがホーバークラフトの本格的運用には至らなかった。

一方、北極におけるホーバークラフトの利用は早くから 1966 年アラスカ北西部 Tuktoyaktuk における SRN5 によって開始され、その後主としてアラスカ及びカナダの Beaufort Sea 付近を中心に精力的な開拓の試みが継続されていた。すなわち SRN5, SRN6 による初期の開拓的な運航の試みに引き続いて、カナダ政府と Mackenzie River System をスポンサーとした Bell Canada Voyageur 002 (ペイロード 18 t) による寒冷地評価が進行中であった。航行区域は決して平坦な海氷上だけではなく荒れた氷原も対象としていたが、石油資源の探査を主目的としていたためであった (DICKINS, 1989) (図 2)。

これらの評価結果はあまり明らかにされていなかったため、当時わが国ではまだよく知られていなかったが、空気取り口及びスカートなどに対する雪の吸い込みと着氷、プラスチック部材の低温脆化などに問題があることが予想された。図 3 及び表 1 に北極地域で運航テストされたホーバークラフトの一覧表を示す (DICKINS, 1989)。

そのため実用化に先立って、南極におけるホーバークラフトの運航試験が不可欠であり、3-4 人乗り程度の小型艇を試作することが望ましいと考えられた。設計計画に当たっては迅速かつ効率良い開発を進める立場から当時存在した唯一の国産小型ホーバークラフト MV-PP05 (三井造船) をベースとしてペイロードと推力の増大をはかることになった。わが国のホーバークラフトの用途としては在来の海上航行型でなく、海氷上走行を主目的とする点が画期的であった。1978 年に極地研設営部門専門委員会内にホーバークラフト分科会が設

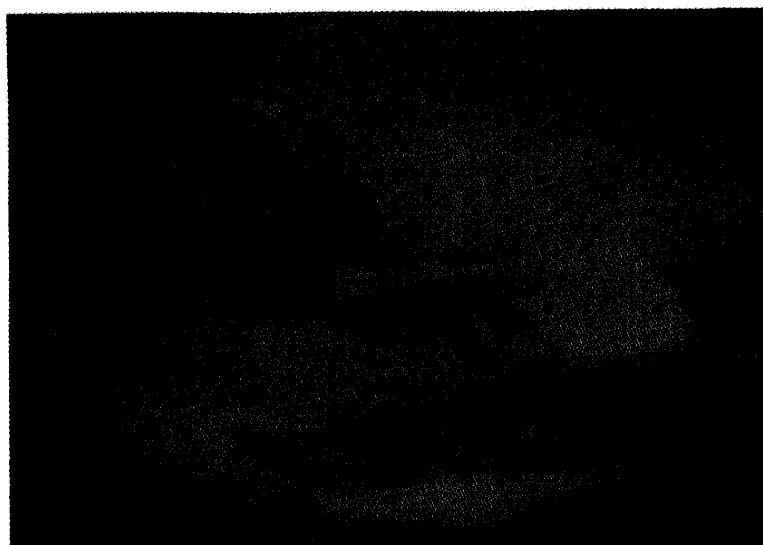


図 2 アラスカ Beaufort Sea 付近で試験中の Voyageur 002 (47 t)
Fig. 2. Voyageur 002 (47 t) testing in Beaufort Sea area.

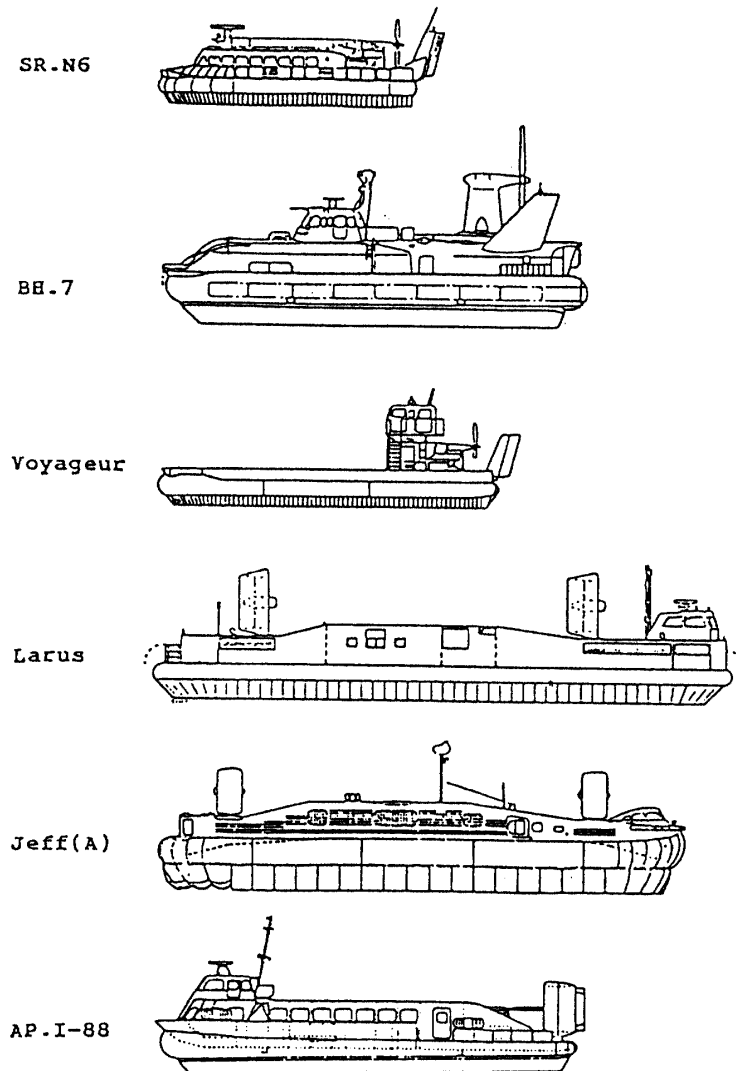


図3 北極地域で運航テストされたホバークラフト

Fig. 3. Hovercrafts tested in the Arctic.

 表1 北極地区で運航テストされたホバークラフトの要目
 Table 1. Principal particulars of hovercrafts tested in the Arctic.

機種	期間	全備重量 (t)	最大ペイロード (t)	全搭載動力 (kW)	クッション深さ (m)	運航区域
SR.N6	1966-77	15	6	1206	1.2	Beaufort Sea, Mackenzie River
BH.7	1972	61	17	5697	1.8	Finland-Sweden Bothnia Sea
Voyageur	1973-87	47	24	3485	1.2	Beaufort Sea, Tuktoyaktuk-Norman Well
Larus	1981-87	100	24	4692	0.8	Baltic Sea, Beaufort Sea
Jeff(A)	1983-84	177	77	30161	1.2	Prudhoe Bay
AP.1-88	1984-89	41	11	2295	1.4	Copenhagen-Malmö

置され“南極観測事業における人・物の輸送あるいは交通手段としてのホーバークラフトの有用性・適応性及び運用に際し、極地の実際条件下で試験調査し、南極用の実用ホーバークラフト建造のための技術データをうること”を目的として、実験用南極ホーバークラフトを試作することになった。

運航条件は夏期昭和基地付近を対象とし、気温データに基づいて最低温度を駐機時 -40°C 、運行時 -20°C と想定した。風速は年間最高 $40\text{--}50\text{ m/s}$ に達するが、年平均は 7 m/s 、夏期は比較的穏やかであることを考慮し、走行時の最高風速を 10 m/s と想定した。航行域は平坦な氷雪原とし、目標速力は氷上無風時で 55 km/h 、 7.5 m/s の向風で約 30 km/h とした。

試験艇は原型のペイロードを倍増して 600 kg とし、浮上用空気をバイパスして推進する原型方式に対して、両舷2基のプロペラを追加して推力を増強するよう計画された。そのため全備重量は 1.65 t から 2.8 t に増大した(図4)。

1980年11月「ふじ」に積み込まれた南極ホーバークラフトは1981年1月10日に昭和基地の北西約 40 km の海氷上から昭和基地まで自力走行し1989年1月まで現地において運用された。

ホーバークラフト運用試験期間中に就航した新砕氷船「しらせ」の実績が本プロジェクトの当初のねらいを変更させる要因となったことは特記すべきことである。

実験用ホーバークラフト開発開始の1978年の段階では船が基地に接岸できない事態が多く、ホーバークラフトによる船から基地までの資材輸送が期待されていたが、1983年新砕氷船「しらせ」の就航後は、難航を強いられつつも砕氷能力の向上と操船努力によって例年

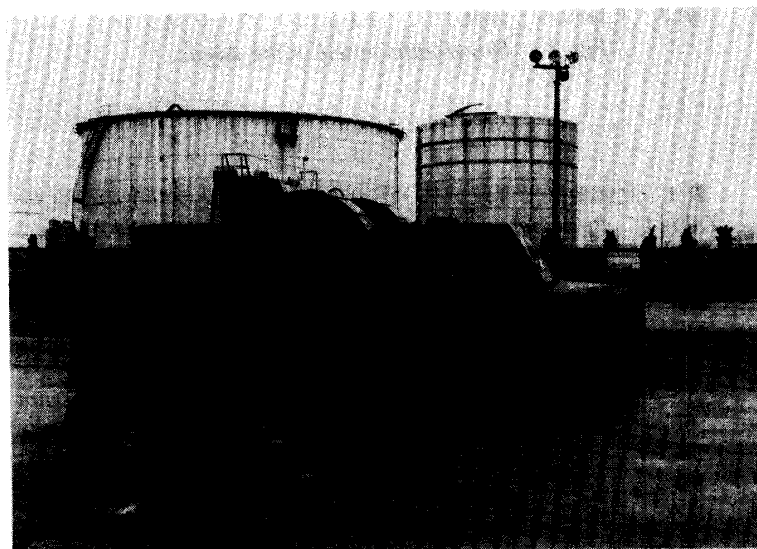
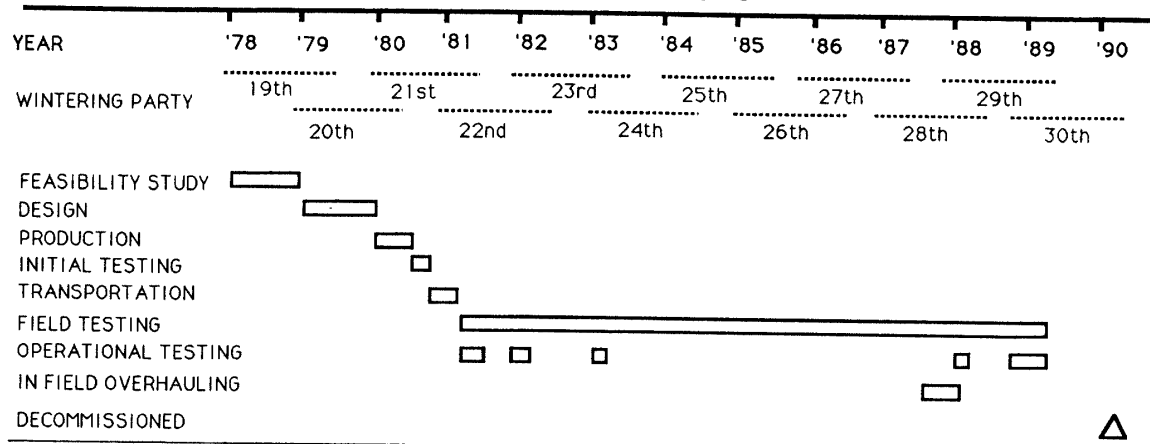


図4 実験用南極ホーバークラフト MV-PP05A の工場テスト

Fig. 4. MV-PP05A (factory tests).

表2 南極ホーバークラフトプロジェクト概要
Table 2. Antarctic hovercraft program.



基地への接岸に成功してきた。南極の氷状は年により大きく変化し、接岸不能な事態に備える必要は依然として無くなった訳ではないが、「しらせ」の実績を考慮するとホーバークラフトの当初の運用目的を変更して、物資輸送よりむしろ氷上観測・沿岸調査・人員輸送等の観測支援活動に重点をおくのが妥当であると考えられるようになってきた。従って1981-1989年にわたる氷雪・寒冷環境適応性・操縦走行試験・駐機法・観測支援等の運用及び現地における整備・修理等の経験の評価は、大規模集中的な資材揚陸よりむしろ小規模日常的な観測支援艇としての適否に焦点を移行することになった。南極ホーバークラフトの計画運用の概要を表2に示す。

2. 実験用南極ホーバークラフトの特徴

実験用南極ホーバークラフト MV-PP05A は艇全周に深さ約 0.6 m のフレキシブルスカートを持つ圧力室型ホーバークラフトである。艇は船首、操縦室、前部機関室及び後部機関室の4区画を高さ 0.6 m までの水密隔壁で分割し、どの区画に浸水しても安全なだけの十分な予備浮力を有している。操縦室は操縦士1名、乗員2名の固定座席を備え、後部に観測用の荷物を搭載するスペースを設けている。図5に一般配置図を示す。スカートは雪の溜まりをなくすため、バグフィンガー型の代わりにループセグメント型を採用している。またスカート材はナンロン基布の両面に、耐寒性の優れた天然ゴムをコーティングしたものを使用している。着地用として下面に天然ゴムのクッションラバーを有するランディングパッドを船底4カ所に設置している。

主機関は 1990 cc のガソリンエンジン1基で、ラジエータ水冷方式の連続最大出力 88.2 kW/5000 rpm であり、減速機を介して艇両舷に配置された浮上及びエアジェット推進用の遠心ファンを駆動する。補助推進機関は 1584 cc ガソリンエンジン2基で、強制空冷方式の連続最大出力 32.3 kW/3600 rpm でタイミングベルトを介してそれぞれ1基のプロペラを駆

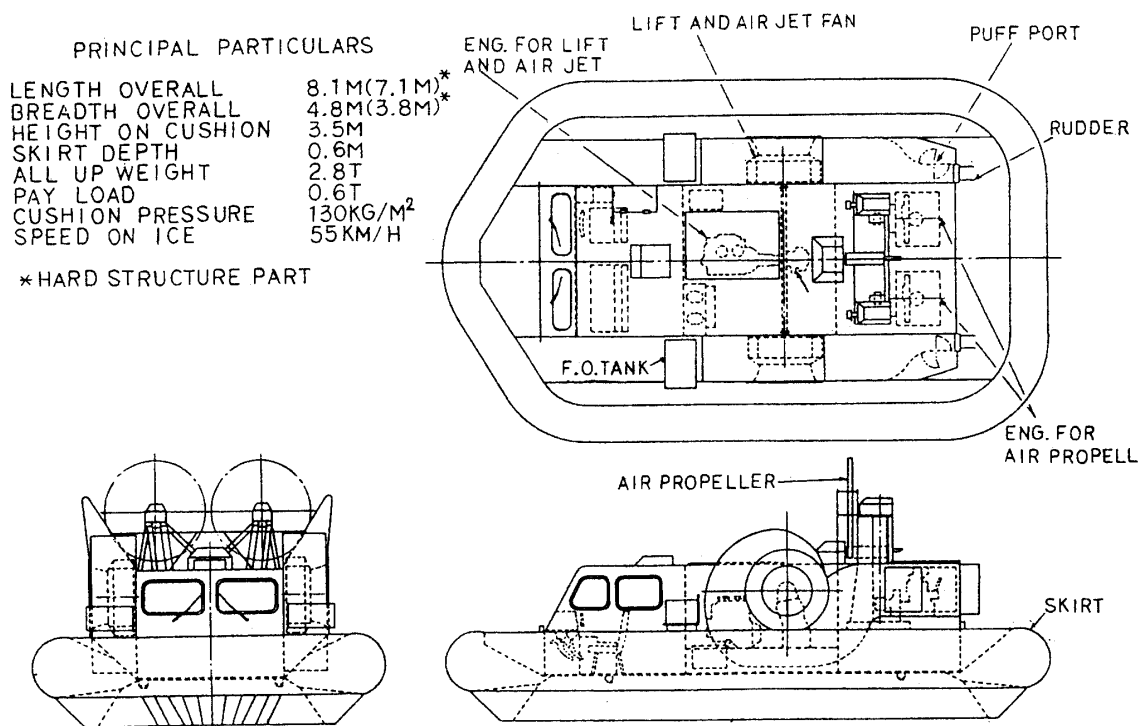


図5 実験用南極ホバークラフト MV-PP05A 一般配置図

Fig. 5. MV-PP05A General arrangement.

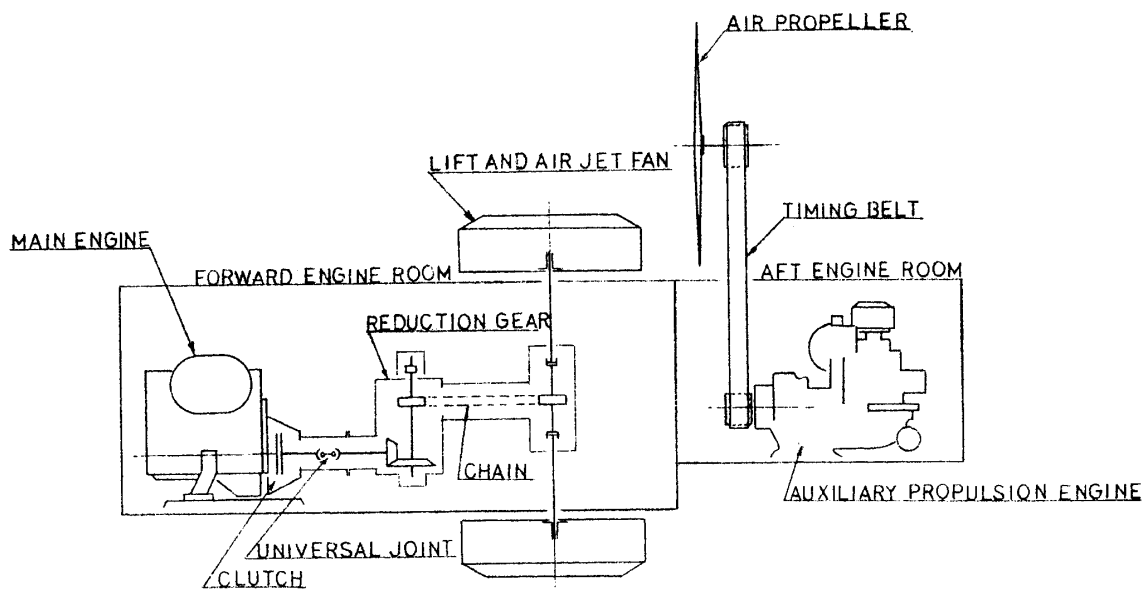


図6 実験用南極ホバークラフト MV-PP05A 動力系統

Fig. 6. Engine and transmission system.

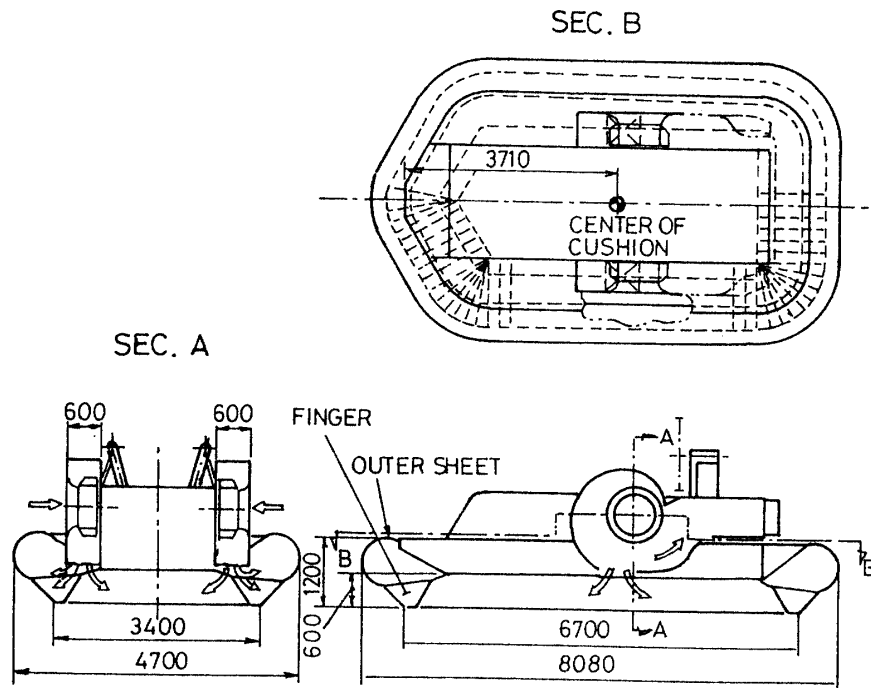


図7 実験用南極ホバークラフト MV-PP05A 浮上・推進系

Fig. 7. Air cushion and thrust system.

動する（図6）。浮上は遠心ファンからの一部加圧空気を艇底下に保持して行い、推進はプロペラ及び遠心ファンからの加圧空気を一部推進ダクトから艇後方に噴出させるエアジェットにより行う。プロペラは木製2翼固定ピッチ式で、表面は樹脂で覆い、翼前縁にエロージョン防止のためのステンレスシースが張り付けてある（図7）。

本実験艇のホバークラフトとしての特徴は、海氷上走行を目的としているため、通常の水陸両用型に比べてプロペラ駆動用動力が小さいことである。操舵方式はやや複雑で左右プロペラの差動推力の他、浮上用空気の一部をバイパスして、ダクト（左右）内におかれたラダーとパフポートを単独あるいは組み合わせて使用する。本艇は当初16t級ACVによる揚陸支援の運用予備評価を目的とした実験艇であったため、サイズの割にやや重く、後にその用途が変更された観測支援艇としては軽快さと機動性に欠ける結果となったことは否めない。

3. 運用経過

3.1. 運用概要

試験艇は1981年1月に昭和基地に搬入されてから1989年1月までの間に、昭和基地周辺海氷域において下記のように運用された。各隊の運用状況の概要は表3に示すとおりである。

表3 南極ホーバークラフト運用状況概要
Table 3. Operation of the craft in Syowa Station.

Year	Party	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
'81	22nd	基地搬入	見晴らし岩			海水上		操縦練習	環境検下			走行テスト	環境検下
'82	23rd	運用, 走行テスト	見晴らし岩										
'83	24th	見晴らし岩		操縦練習			作業検海側						海水上
'84	25th			海水上									
'85	26th	海水上		環境検下タイドクラック陸側									
'86	27th			環境検下タイドクラック陸側									
'87	28th	環境検下タイドクラック陸側		作業検金属タンク間		作業検オーバーホール	作業検横						
'88	29th	作業検オーバーホール		作業検横					浮力タンク排水	練習, 運用, 走行テスト			
'89	30th			環境検下									
'90	31st	環境検下	廃棄										

運用
 オーバーホール
 デモ

3.2. 年次別運用経過

1) 第22次観測隊

1981年1月10日に砕氷船「ふじ」から海氷上に降ろして、操縦訓練を行った後1月13日、昭和基地北西40km地点から冰山縁に沿って海氷上を自走して基地に搬入した(図8)。

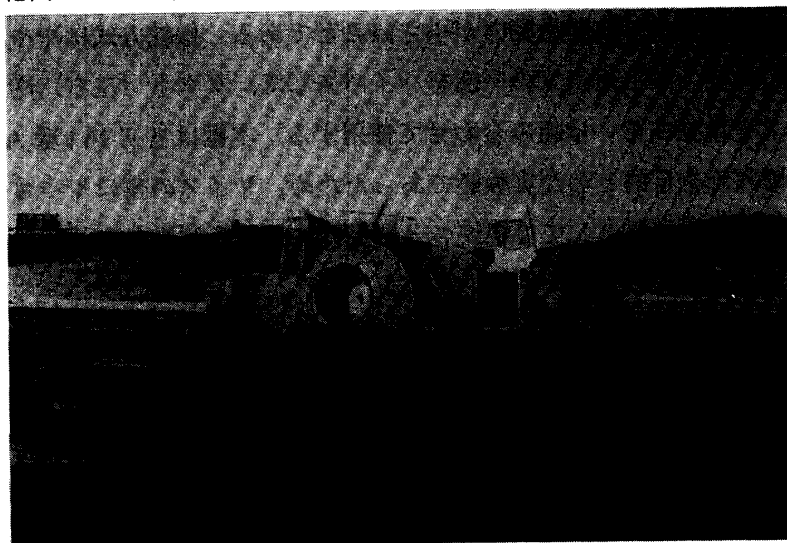


図8 昭和基地に到着した実験用南極ホーバークラフト
Fig. 8. Arrival of PP-05A hovercraft Syowa station.

幅 1 m 位の小さなクラック、パドル及び高さ 40 cm 位の氷盤等は乗り越えられたが、長さ 10 m 幅 5 m 深さ 60 cm のパドルでは脱出に難航した。燃料タンクのカソリン片減りによる不平衡と、右補助推進エンジンのエアクリーナ雪詰まりによるエンジン不調のトラブルを生じた。

夏の間、基地周辺の海水状況が悪いために見晴らし岩にデポした。艇は後半分を帆布でオーニングした。冬期デポ中強風のためカバーは破れてきたが機体の損傷はなかった。

5 月海水の好転に伴って海氷上に移し、空気取り入れ口、補助推進エンジン室に布団を詰めて、その上から帆布でオーニングした。オーニングカバーはブリザードで破れて、プロペラガードの一部を破損したので、カバーでオーニングする方法をやめ、布団を詰め込んだだけで、艇の前を風上に向けて駐機するように改めた。

7 月に保守点検 ドリフトを避けるため短時間運転した。後部の排気管周辺から主機関室に入った雪が、暖気運転中に溶けて水が底に溜まる。その排水は艇を後傾にして後部のドレン抜きから抜かなければならぬ不便があった。

積雪で押し下げられた海氷上に海水が浸出して、ファン下部の空気吹き出し口が凍結しているのを 8 月の点検で発見、艇を浮上させるため氷をピックルで除去して不完全ながら艇を浮上させ、雪上車でけん引してタイドクラック陸側の傾斜面に艇首を風上に向けた前傾状態で駐機した。そのため主機室の水抜きができなくて、機関室床に溜まった水が凍結して次第に氷が厚さを増し、暖気運転では融解しなくなって、砕いて取り除く状態となった。

11 月に入って 3 回、12 月に 1 回、艇を海氷に降ろして、オングル海峡西方、基地前の北の浦で操縦訓練及び直線走行、旋回走行を試み、再度駐機した。

日照時間が多くなるに従い積雪荷重による海水浸出の恐れもなくなったので、本格的な試験走行及び次隊との引き継ぎ準備のため 1982 年 1 月再び海氷上に移動して駐機した。

1982 年 1 月 16 日から次隊に引き継ぐ 2 月 5 日までの間に、いずれも徒歩圏ではあるが、オングル海峡の氷状偵察 3 回、とつつき岬及びオングル海峡の氷状偵察 1 回、西オングルテレメ基地から豆島に 1 回、ペンギン調査に豆島に 2 回、走行性能確認にオングル海峡西部に 1 回運航した (図 9)。最高速試験を行い 55 km/h を達成した。操縦に慣れるに従い、所定のコースを 30 km/h 以上の速度で目的地に到達できるようになった。なおザラメ状の雪面ではスカートの摩擦抵抗が増大して速度が極端に低下するなど氷雪面の状態で速度の影響が顕著にあらわれる。またザラメ状雪面や浅い窪地からは発進が困難となる。2 月 5 日見晴らし岩に駐機して第 23 次観測隊に引き継ぐ。第 22 次観測隊の運転時間; 約 25 時間。

2) 第 23 次観測隊

1982 年 2 月、西オングル島に人員ピックアップに運航した帰路 5 名乗艇時に、操縦不慣れもあって日射による鱗状の氷水面で難航し、凹地を人力で脱出した。

2 月操縦練習と氷状偵察を兼ねてとつつき岬を往復する途中で右補助推進エンジンのエア

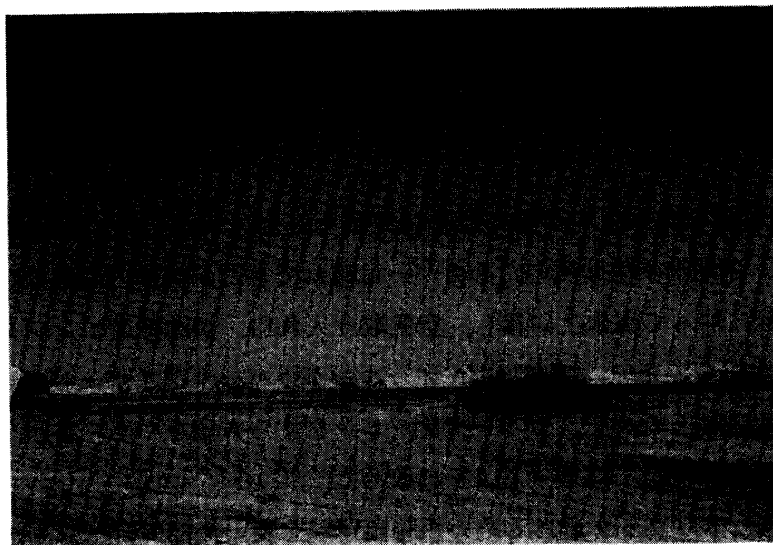


図9 昭和基地付近を航行中の実験用南極ホバークラフト
Fig. 9. PP-05A in operation.

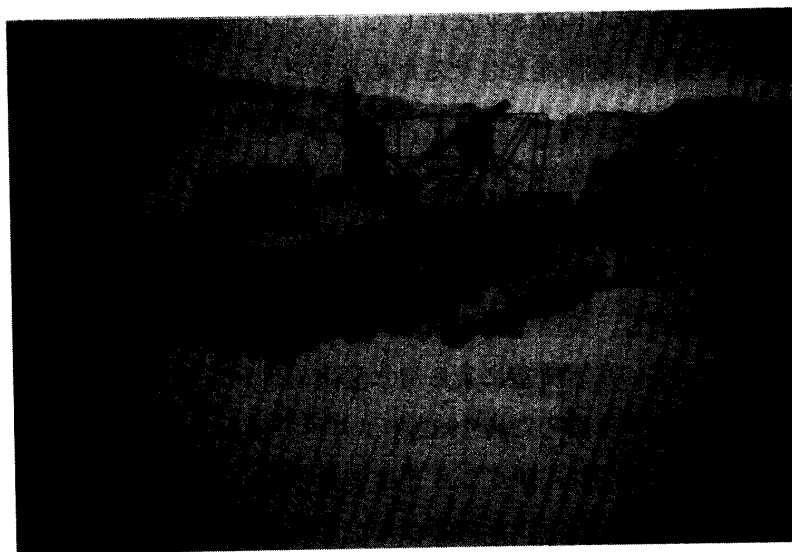


図10 越冬駐機後の艇体引き出し作業
Fig. 10. Ice locked PP-05A hovercraft Syowa Station.

クリーナに雪が詰まって除去した。これは数日前に降って舞い上がった雪を吸い込んだものである。2月開口部に布団等を詰めて見晴らし岩にデボした。幅70-80cm 深さ2-3mのタイドクラックが越せないため雪を入れてけん引して渡した。

海水状況が悪く、見晴らし岩付近のクラックも多かったので以降第24次観測隊に引き継ぐまで使用しなかった。越冬中は風上のフロントガラスと後上部を残して雪に埋まり、点検はしなかった(図10)。12月始めに砂まきをして、下旬に艇体が出てきた。雪が解けた後はスカート内部に雪はなかった。第23次観測隊の運転時間;約7時間。

3) 第 24 次観測隊

1983 年 4 月操縦練習を試みた。この際燃料パイプの亀裂を発見。補助推進エンジン冷却ダクトから雪が入ってエアクリーナが詰まるのでダクトの方向を変更。右補助推進エンジンスタータに故障が起きた。11 月まで作業棟海側にデポした後、海氷上に移動したが第 25 次観測隊に引き継ぐまで使用しなかった。第 24 次観測隊の運転時間；約 35 時間。

4) 第 25 次観測隊

第 24 次観測隊より引き続き海氷上に駐機。第 25 次観測隊は新発電棟の建設に忙殺されたためほとんどホーバークラフトを使用しなかった。作業棟の火災によりホーバークラフト部品が焼失した。第 25 次観測隊の運転時間；約 5 時間。

5) 第 26 次観測隊

海氷上にあった艇を観測棟下タイドクラック陸側の雪上に移動した。第 26 次観測隊では内陸探査プログラムに重点がおかれたためにホーバークラフトの運用は計画されなかった。第 26 次観測隊の運転時間；0 時間。

6) 第 27 次観測隊

夏時期に解けた雪によって艇体下部全体が凍り付いた。スカートからの輻射熱で艇体周りの雪が解けて 1-1.5 m 雪面より掘れた状態となった。1986 年 8 月の状態で下部スカートの破れ、給気孔保護金網の一部外れの他外観上の損傷はなかった。第 27 次観測隊の運転時間；0 時間。

7) 第 28 次観測隊

1 月「ふじ」に積載してホーバークラフト補充部品を補給した。補給部品リストを表 4 に示す。2 月艇底板と氷は 5 mm ほど離れているがランディングパッドが氷に埋まっているため艇体は動かない。雪面が悪くてブルドーザーで周りの雪を埋めることができない (図 11)。5 月艇体の前後を 2 台のブルドーザーで吊り上げて観測棟海側より作業棟金属タンク間に移動 (図 12)、作業棟に搬入し整備を行った。長期放置のためエンジン部品の腐食が多い (図 13・14)。9 月スカート破損箇所 (図 15・16) を交換した。エンジンタペット・オイルを交換したが出力出ず、エンジンを分解し、ヘッドガスケットの破損 (図 17)・オイルクーラー漏れ・V ベルト・レギュレータハイテンションコードの破損・ウォーターホースの老朽化・給気アルミダクトの曲がりを見つけた。部品調達が必要となった。10 月 エンジンテスト。単体ではよいが負荷をかけると 3900 rpm までしか上がらない。浮上テストを行ったが艇後部浮上不十分。作業棟横にデポした。第 28 次観測隊の運転時間；約 8 時間。

8) 第 29 次観測隊

1 月第 28 次観測隊と合同で推進用エンジン 1 機交換。浮上用エンジンガスケット交換・バルブタイミング調整・ファンベルト交換・電気系部品交換修理を実施した。浮上テストを行ったが再び艇体浮上不十分。2 月スカート修理後テストしたが浮上回復せず (図 18)。5

表4 第28次観測隊によるホバークラフト部品調達
 Table 4. Spare parts for hovercraft supplied by the 28th wintering party.

分類	品名	数量
主機関	燃料フィルター	1
	オイルフィルター	1
	スパークプラグ	4
	キャブレター Assy	2 組
	V ベルト	1 本
	フュエルポンプ	1
	オルタネータ Assy	1 組
	スタータモータ Assy	1 組
推進エンジン	フォルクスワーゲンエンジン Assy	1 組
	油圧計及び油圧ユニット	1
	油温計及び油温ユニット	1
	電気式回転計	1
	キャブレター Assy	1 組
	サプレッサー	4
	プラグ	4
	燃料ポンプ	1
	タイミングベルト	2 本
	プーリー (エンジン側)	1
スカート	バッグ	30 枚
	フィンガー	30 枚
	ゴム引布	2 枚

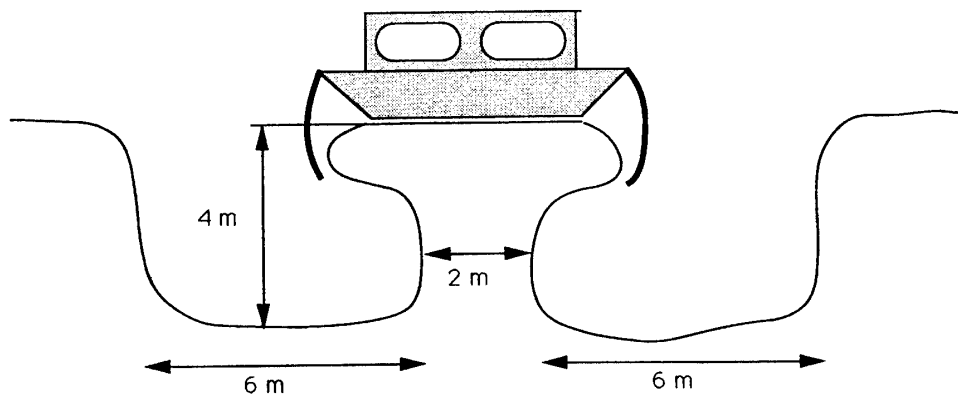


図11 長期駐機によって船底が凍結固着し、周囲の雪がスカートからの輻射によって掘れた状態

Fig. 11. Hovercraft being frozen on the snow.

月第28次観測隊のテスト状況ビデオが極地研・機械分科会報告会で報告された。7月機械分科会で浮上不十分原因を検討し、浮力タンク内水侵入と推定して昭和基地に点検項目を指示した。9月浮力タンク内水侵入凍結を確認し、ヒーターで50h加熱解氷し、300lの水をドレインプラグより排出し浮上に成功した。10月海氷上に移動。10月の大部分は主として操縦練習を目的に最初は作業棟下の北の浦で次いで岩島付近まで行けるようになり、操縦に慣れるにしたがって基地から約30km離れたラングホブデ生物小屋にオングル海峡経由で



図 12 オーバーホールのため作業棟に搬入
Fig. 12. Work shop on for overhaul.

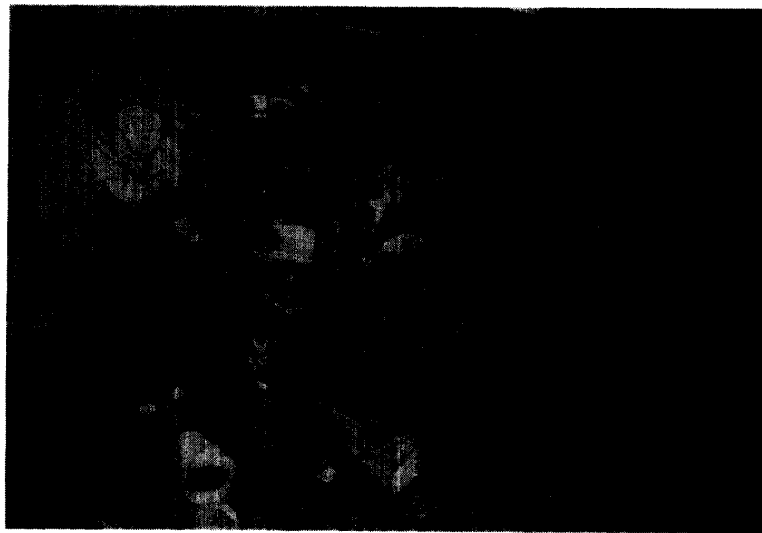


図 13 浮上用主機関 水冷 1990 cc マリン用ガソリンエンジン
Fig. 13. Main engine for lift-1990 cc water-cooled automobile engine.

到達し、ルンパを経由して帰島できるようになった。この間もエンジントラブルが多く左補助推進エンジンが始動困難となって、燃料計及び電気系の部品交換等の修理を行っている。

艇の操縦に慣れてきた 10 月 27 日以降 1989 年 1 月 5 日に環境棟下に駐機場を移すまでは、海水上に駐機して氷状に合わせてその都度移動しながら、観測における人員、機材の輸送・海水調査・ペンギン調査の支援及びペンギン見学などに、基地と向かい岩間のオングル海峡横断・ラングホブデ小湊ルンパ経由またはオングル海峡経由ラングホブデ生物小屋、とつつき岬・向かい岩経由ルンパ、ルンパ往復を 14 回にわたり行った。またこのほかこの期間に

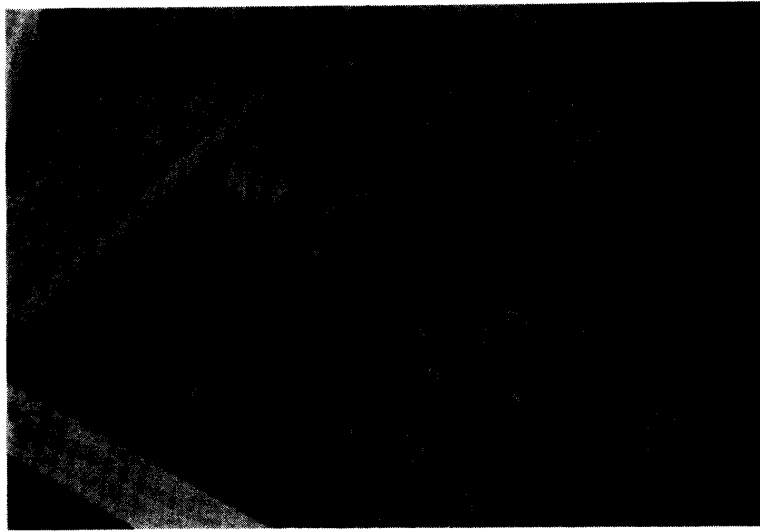


図 14 推進用機関 空冷 1584 cc ガソリンエンジン

Fig. 14. Engine for propulsion-1584 cc air-cooled automobile engine.

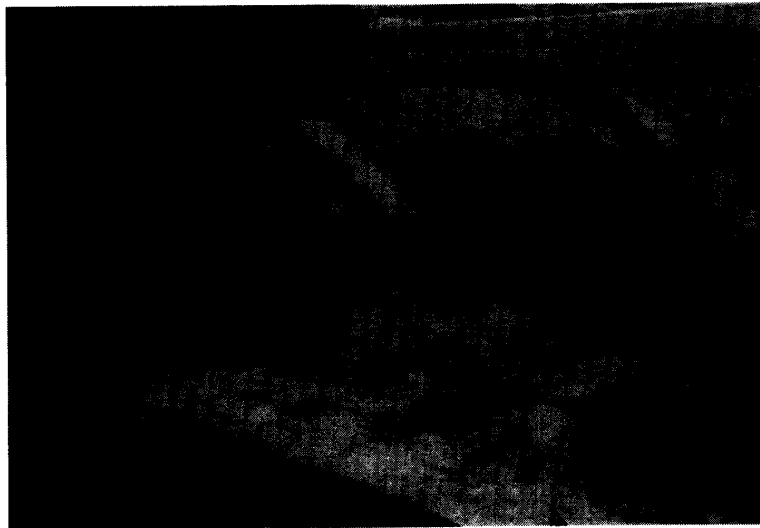


図 15 船体下部 スカートに雪付着

Fig. 15. Inside view of craft bottom and skirt with stuck snow.

は故障修理の確認運転，性能確認試験走行などを基地中心に，向かい岩・向かい岩経由ラング小湊・オングル海峡ラング手前・ラング生物小屋・岩島・ルンパ等に9回往復している。

この間にもエンジントラブルが依然として多く，その大半は雪の吸入によるもので主機関ラジエータ用冷氣ダクト及びラジエータの目詰まり，補助推進エンジンエアクリーナの雪詰まり，及びスカート底部の雪の付着による浮上性の低下があった。このほか夏期12月中頃以降，乱氷帯やパドルの走行に苦勞し，乱氷帯でナイフエッジ状の氷でスカートを横に2mも切ったり，パドルにはまってその都度雪上車のけん引によって脱出と言うトラブルを経験した。

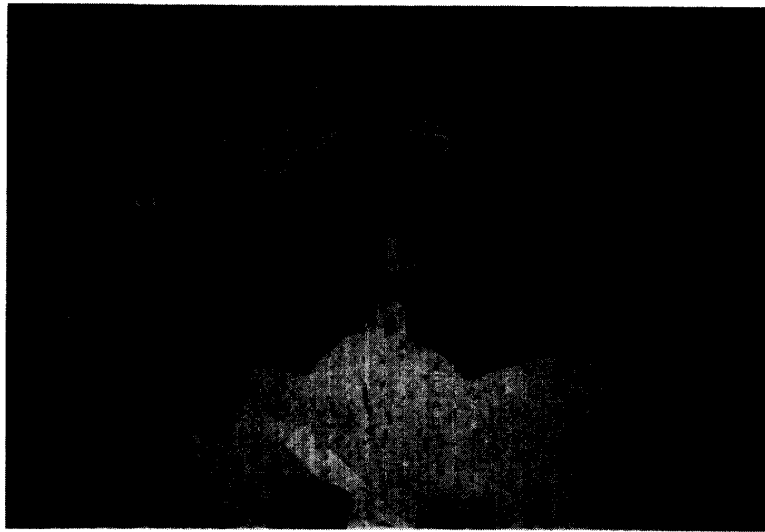


図 16 損傷スカート
Fig. 16. Teared finger skirt.

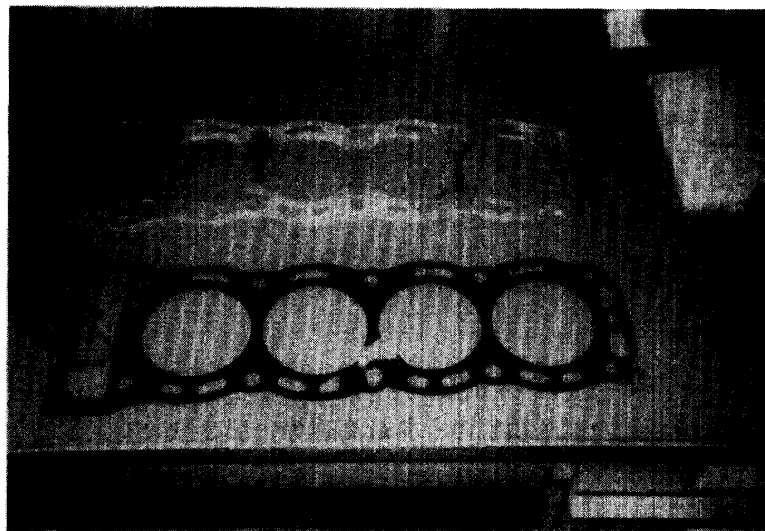


図 17 主機関用損傷ガスケット
Fig. 17. Damaged gasket of main engine.

12 月には海水の状況が日射で悪化してきたので環境棟下に設けた駐機場に陸揚げした。以降はこの駐機場から運航したが駐機場、岩島間にバドルが多くなり自力で運航できなくなり、1989 年 1 月 5 日に環境棟下にデポした。第 29 次観測隊の運転時間；約 122 時間。

9) 第 30 次観測隊

年間を通じて運航しなかった。

10) 第 31 次観測隊

目視による点検の結果、スカート劣化・エンジン操縦系統の錆びつき・ドアの変形等修理

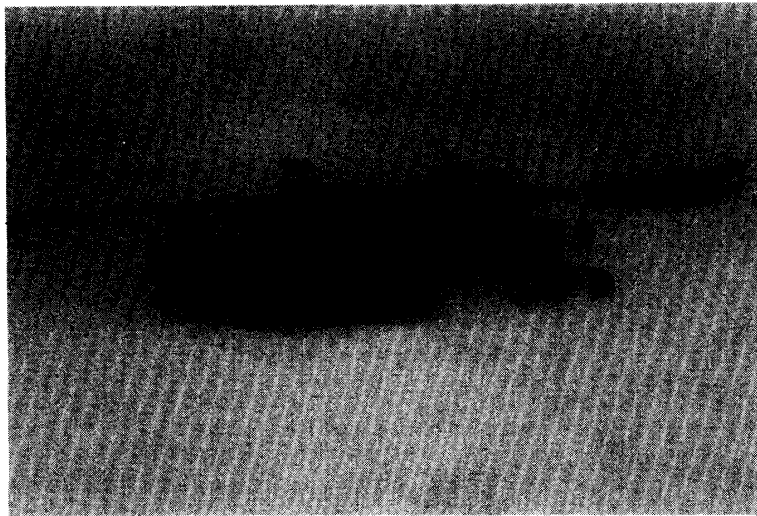


図 18 オーバーホール後の浮上テスト（後部浮上せず，浮力タンク内水侵入凍結のためと判明）

Fig. 18. Hover-test after overhaul (craft took rear down attitude because of buoyancy tank filled with ice).

不能と判断し，2月デポ地を移動し本プロジェクトを終了した。

3.3. 運用の特徴

実験ホバークラフトによる南極での運用には性能試験と用途開発，南極におけるメンテナンスの2面がある。

性能試験については現地で試験環境を準備することが困難なため，初年度1981年の運転試験時には，当初計画された試験項目のうち最高速等一部を除いて定量的データはほとんど得られなかった。初年度の運航試験経験に基づいて新たに現地実施に適したと思われる試験法が提案されたが，前記メンテナンストラブルのために実施はオーバーホール後の1988年に持ち越された。停止・旋回に及ぼす操縦法の影響に関する性能試験の大部分はこのプロジェクトの最後の年1988年に集中的に行われた。

ホバークラフトの運用と用途開発については，ほぼ全面的に昭和基地側に任されたが，越冬年度による重点研究テーマに依存してホバークラフト運用のニーズが大きく変化するものが本運用の特徴であった。また越冬隊が毎年交代する事情があって運用計画に一貫性を欠いたことは否めない。

南極ホバークラフト関係者に対するアンケート調査の結果によると，ホバークラフトに関心を持つ個人の有無によってその年度の用途開発及び運用の評価に大きな違いが生じている。

すなわちホバークラフトに興味を持つ隊員を含む観測隊は，信頼性の欠如による運用の

困難にもかかわらず積極的に用途を開発し、有用性に対する期待をよせている。一方ホバークラフトに関心の少ない観測隊は放置しがちでそのためますます故障・劣化が進み稼働率が低下している。

4. 環境適合性

4.1. 運航

1) 気象環境

PP05A はエンジン冷却に浮上用エアを使用しているため、軟雪あるいはサラサラ雪の積雪があると、浮上・走行中に浮上ファンがこの雪を吸い込み、機関の冷却ダクトやインタークフィルターに目詰まりを生じさせる。冷却系の目詰まりは主エンジン冷却水温度の上昇をもたらす、燃焼空気取り入れ口への目詰まりはしばしば推進用機関の出力低下・不調をもたらした。

浮上ファンから吸い込まれた雪は、スカート内部アンチバウンスシート及びスカートが2重の袋状になっている後部スカート付近に付着し艇の重量増加・空気系の抵抗増加をもたらした。機関室へ吸い込まれた雪は、ドレーンとなって床で凍結し除去が困難である。

操縦特性は風に極めて敏感で、向かい風と追い風とで推進性能に大きな差がある。風速 10 m/s 3 人乗車時に、差動推力とパフポートを使用して偏角 30 度状態で長頭山沖まで海水面上走行の経験もあるが、一般に横風時にはドリフト走行は困難で安心して走行できるのは風速 5 m/s 以下である。

低温時に推進エンジンの始動に不安がある。Preheating 機構が望ましい。安心して使用できるのは -15°C 以上である。

2) 地形環境

乱氷域では、0.4-0.5 m の高さの氷を乗り越えた例もあるが、スカートを大きく裂くことがあり不安が大きい。波状の起伏は 0.4-0.6 m、垂直の小崖は 0.4 m 程度まで乗り越え可能。

傾斜の急な氷のうねりは、艇の底部を打ちスカートを傷つける。急停止できないのでかなり前から対処する必要がある。8 度程度は行足をつければ登れるが、傾斜と直角方向は走行不能である。パドル・窪みにはまると自力で脱出困難になるおそれがある。

クラック 0.2-0.3 m は 20 km/h 以上で乗り切れる。0.5 m では空気が逃げて困難。タイドクラックは 0.3 m 以上は乗り越え困難。

4.2. 駐機・保管・整備

1) 気象環境

夏期に積雪が残る場所に長期駐機放置すると、夏期にとけた雪が再凍結することによって艇体下部が雪面に固着し移動困難の状態になる。また海水上駐機中に、積雪荷重によって海

水が滲出すると空気吹き出し口を凍結して浮上不能となることがある。10-12月 は海氷上に駐機出来る。

冬季ブリザードによってスカート内に雪が吹き込むと気温上昇によって剥離するまで除去が困難である。排気管周りの隙間から主エンジン室に少量吹き込んだ雪は、運転中に解けて床に溜まり凍結する。

長期駐機放置すると浮力タンクに雪が侵入し解けて凍結することがある。原因は打釘の緩み、板の亀裂、点検蓋閉鎖不良と見られる。

ブリザードによってコクピットの窓がすりガラス状になり視野を妨げる。ラジエータに付着した塩分によって腐食を生じる。夏期の強い紫外線はスカートの劣化を促進する。

長期的にはエンジン部品・操縦系レバー・ハンドル等に錆を生じ、ドア部の変形等、野外駐機越冬8年間で艇体の劣化が視覚的に甚だしくなって整備困難と判断された。

2) 地形環境

昭和基地付近では、夏期に陸地と海水の間にはタイドクラックが大きく成長し(図19・20)、とりつきの急傾斜地形と相まって、自力で陸上駐機が困難であった。これは運用上大きな障害となった。

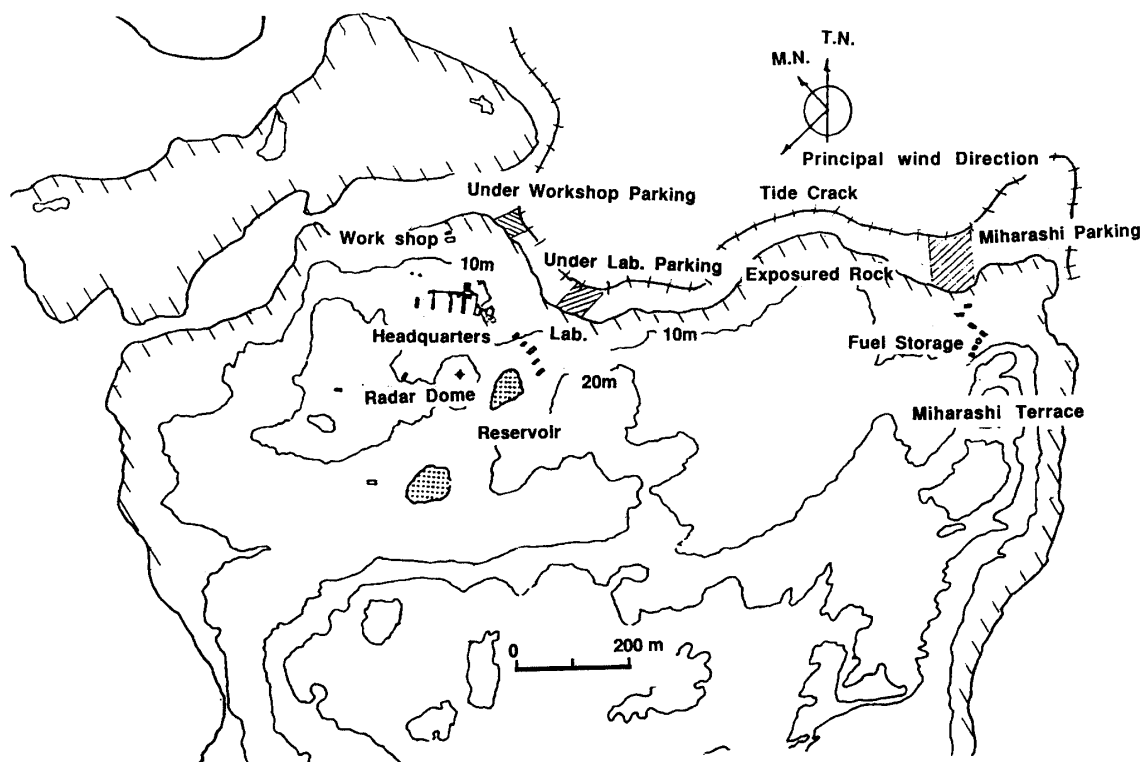


図19 駐機場と昭和基地周辺のタイドクラック

Fig. 19. Parking places and tide cracks around Syowa Station.

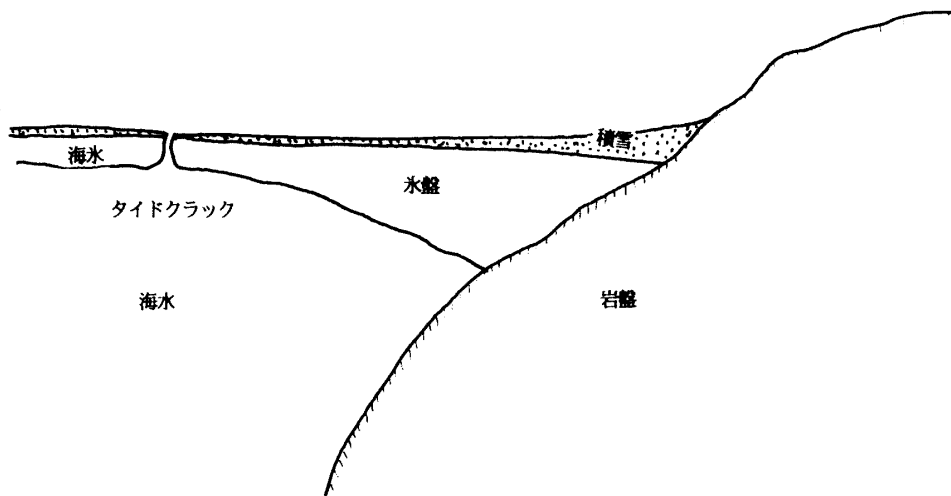


図 20 タイドクラック断面図
Fig. 20. Tide crack cross section.

5. 性 能

5.1. 速力

速力は主として推力エンジン回転数・風向・風速・表面条件の影響を受ける。1981 年および 1988 年に実施された速力試験の結果を図 21・22 に示す。

図 21 は無風ないし微風時に試験された結果で速力に及ぼす推進エンジン回転数の影響を示す。速度テストは 1 km 助走区間の後 100 m-300 m の測定区間で行われた。図 22 は 1 辺 1 km の三角形コースで行われた周回テストの結果である。横風時に速度低下が著しい。氷

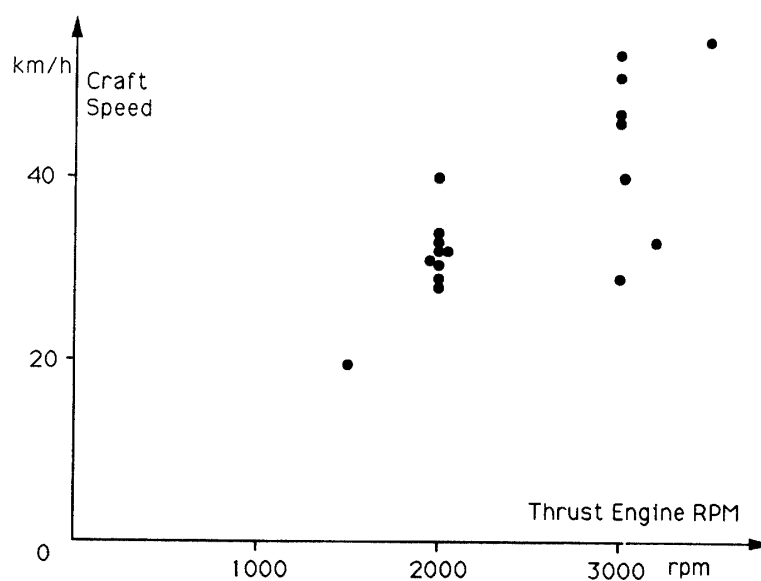


図 21 速力と推進エンジン回転数の関係
Fig. 21. Effects of thrust engine rpm on craft speed.

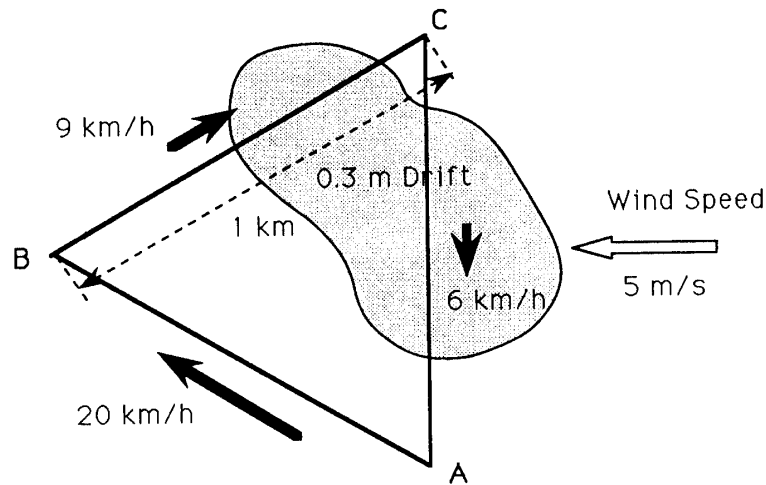


図 22 周回速力試験

Fig. 22. Effects of wind direction on craft speed.

上航行時においても表面摩擦の影響は顕著であり、表面融解した夏期のザラメ状雪面では顕著に減速することが報告されている。平坦な海氷上で無風時最高速 55 km/h を達成したが、実用速力は無風時 30–40 km/h，向かい風 5 m/s で 10–20 km/h，追い風 5 m/s で 20–45 km/h 程度と推定される。

5.2. 停止性能

推進エンジンをアイドリング（約 600 rpm）または停止とし，浮上エンジンを 3000 rpm まで徐々に低下させパフポートを一杯に踏み込む方法で停止操作を行う場合，初速度 50 km/h からの停止距離は 200–300 m の程度であった。180 度ターンによると初速度 50 km/h からの停止距離は 100 m に短縮される。追風 3 m/s（乗員 2 名時）推進エンジン 3000 rpm 初速度 46 km/h からの停止距離は 410 m・停止時間 79 s，推進エンジン 2000 rpm 初速度 32 km/h からの停止距離は 315 m・停止時間 76 s の実測例がある。

5.3. 旋回性能

方向舵・パフポート・推進プロペラ差動の単独操作及びそれらの複合によって旋回が可能である。旋回性能はこれら操舵法のほか操舵プロセス・風向・風速・初速度・表面条件によって影響を受ける。

追風 2 m/s 浮上エンジン 4300 rpm 一定で，推進エンジンの回転数と各種操舵法の組み合わせによって行った旋回テストの計測例を表 5 及び図 23 に示す。旋回の軌跡は円形ではなく，いびつな半円となる。初速度 30–40 km/h からの旋回半径は 100 m–350 m の間にばらつき，実験範囲で操舵法による明確な違いが得られていない。この種の計測による要因分析の

表5 旋回テスト結果
Table 5. Effects of control manner on turning.

Steering manner	Thrust engine speed (rpm)	Initial speed (km/h)	L_T (m)	L_B (m)
Rudder only	2000	28	150	100
Rudder only	3200	43	250	200
Puff-port only	2000	35	300	230
Rudder + Puff-port	2000	34	350	320
Rudder + Propeller	2000	33	120	150
Puff-Port + Propeller	2000	33	200	100
Rudder + Puff-Port + Prop.	2000	31	300	200

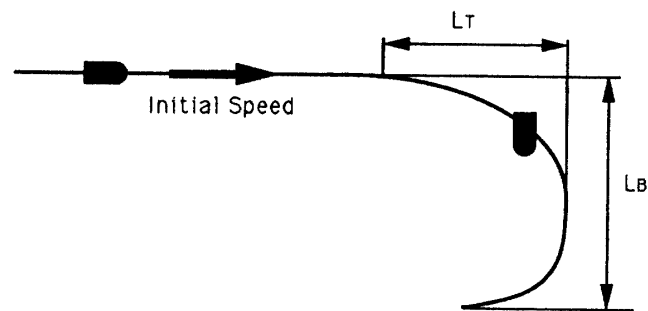


図23 旋回時の最大前進距離 L_T と最大横移動距離 L_B
Fig. 23. Advance L_T and tactical diameter L_B on turning.

困難性を示している。

これらの経験に基づいて、通常の旋回停止操作においてパイロットは1) 推進エンジンアイドリング、2) 浮上エンジン減速、3) 片方推進エンジン回転Upして180度ターン、再びアイドリング、4) 浮上エンジンを更に減速停止の順に操作している。

5.4. 運転習熟時間

アンケートによれば4-12時間と広がりがあるが、目標レベルの解釈と、個人能力差が反映しているものと思われる。概算して10-20時間と推定される。

6. 運用実績

1981年1月より1989年1月に至る期間に、南極における環境適応性を判断するために運転習熟訓練を含む下記の運用を試みた。

1) 調査

氷状偵察（オングル海峡、基地－ルンパ島、基地－ラング生物観測小屋）

ルート調査（基地－とっつき岬）

ペンギン調査（豆島、ルンパ島）

2) 人員輸送

ラング観測小屋（生物調査支援）

とっつき岬（雪上車整備，地球物理バッテリー交換支援，内陸調査隊支援）

西オングル島（テレメトリー基地補修）

その結果第29次観測隊では基地－向かい岩－ルンパ島－ラング小湊湾－ラング生物観測小屋間のルートが確立された。図24に昭和基地オングル島付近のホバークラフト運航区

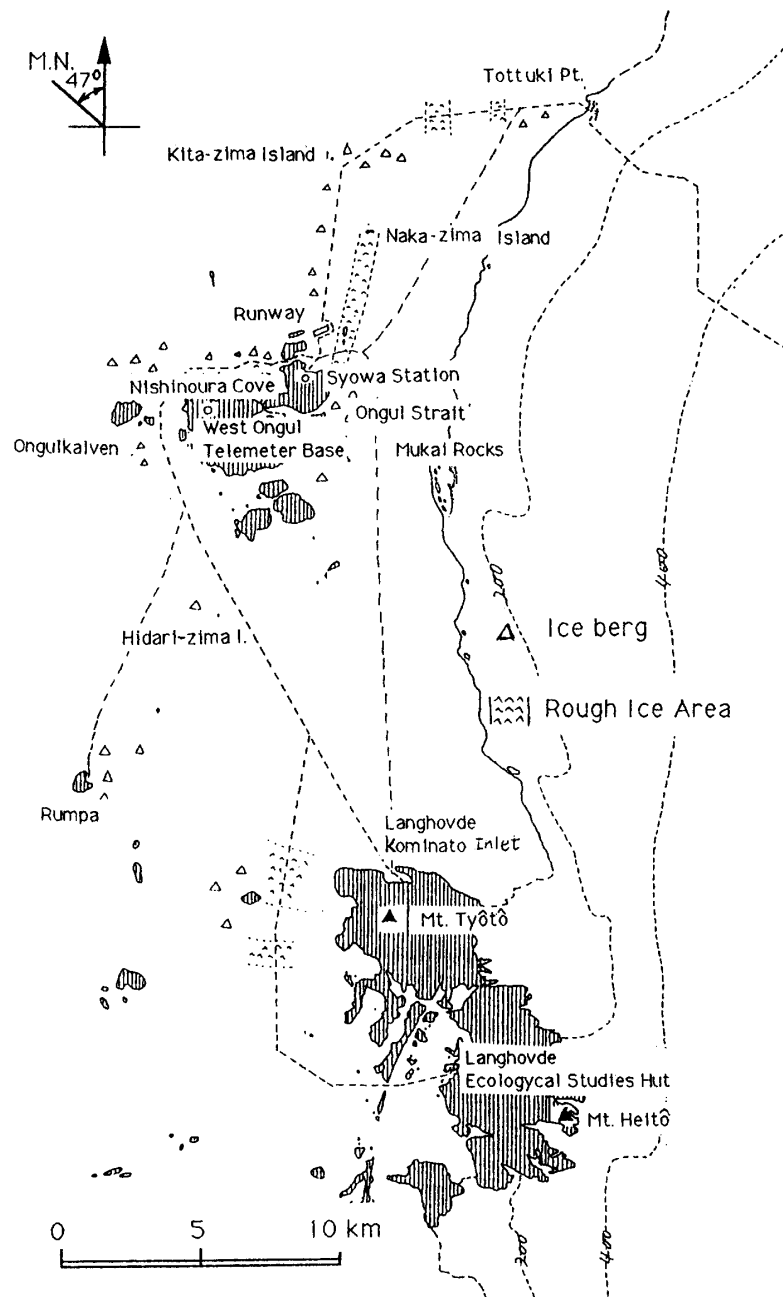


図24 ホバークラフト運航区域

Fig. 24. Routes of hovercraft in the vicinity of Syowa Station.

域を示す。

7. 対策と提案

7.1. 運用

1) 用途

図 24 の昭和基地から 30 数 km 圏内において、夏期薄くなった不安定な海水域を走行して、生物観測や氷状偵察・沿岸調査・観測支援活動に使用することを目的とする。

2) 駐機

必要に応じて昭和基地付近の適当な積雪の無い陸上に駐機するために、基地と海水域の間に生ずるタイドクラックと急斜面を、そりと雪上車またはウインチ曳航によって少人数で引き上げることが可能にする必要がある。

3) 保管・整備

冬季の積雪・船底凍結・塩害等によるトラブルを防止し、整備点検を容易にするために、積雪のない陸上の暖房可能な格納庫あるいは専用テントに収納することが望ましい（図 25）。整備事項の主なものはスカート補修点検・エンジン整備・ラジエータ・フィルター点検である。船底部の雪の付着を除去するために、浮上ファンに温風機の温風を吸わせることやエンジン排気の利用を考慮する。スカート整備のために艇のつり上げ装置および艇保持用スタンドが望ましい。スカートおよびエンジン関係の予備品を充実する必要がある。

4) 操縦整備専任者の特定および操縦習熟

ホーバークラフトは海氷上で常にスリップ状態で走行するので、自動車・雪上車等の車輪走行とは根本的に操縦感覚が異なる。またファン・スカート・プロペラおよび軽量の機体構造等ホーバークラフトの取り扱い上の特徴を熟知した専任者によって運用されるのが望まし

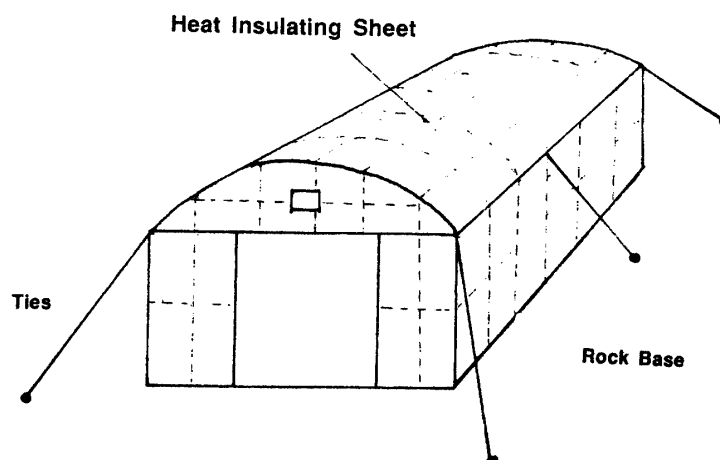


図 25 ホーバークラフト用専用テント

Fig. 25. Tent for hovercraft storage.

い。しかし毎年越冬隊員が交代する観測隊運営の現状ではこのような運用は困難である。南極用ホバークラフトと同型のものが国内に存在しない場合でも、スリップ操縦感覚はすべてのホバークラフトに共通であるので、ホバークラフト操縦予定者が出発前にスポーツレジャー用の小型艇で操縦を習熟しておくことは極めて有効であろう。習熟には国内練習を含めて20時間程度を充当する。

7.2. 機体仕様

当面の南極における観測事業規模では運用が簡便な小型ホバークラフトに対象を限定するのが妥当であろう。昭和基地の規模（越冬人員約35人）から見て2-6人程度の同時移動ができればよいのではないかと推定される。しかし1台のみで運航することは安全上問題があり、レスキューを兼ねて少なくとも2台を運用する必要があるだろう。従って、昭和基地用としては2-3人乗りで十分ではないと思われる。

実験用南極ホバークラフトは1970年代の技術を背景に製作されたもので、機体構造の軽量化・動力推進系の効率化・操縦系統の単純化等現在の技術で改善出来る可能性が多い。

1) 艇体寸法・材料

手軽に運用できるように艇の寸法は現実艇より小型とし、乗員2名+機材または補助席1（ペイロード：250 kg）、軽量化および乗員の機動性を増すため乗員スペースはオープンとする。

現実艇はアルミニウム合金製で主強度部に航空機で使用されているアルミハニカムサンドイッチが採用され軽量化および船体の丈夫さに効果を上げているが、上記運用目的に使用される規模の小型艇では材質としては強化プラスチックが適当である。形状は雪が付着しにくいように曲面を多用するのが望ましい。艇体下の着地部は滑りやすくするため、そり状に整形するとよい。

船体艀装の面では、艇が凹みに落ち込んだ時の引き上げや、そこからの脱出や、艇を基地内にけん引格納するため繫留金具の強度を強化する必要がある。

2) スカート

現実艇はループセグメントを採用し、障害物乗り越し性能や整備性に効果を上げているがスカート内に雪が付着しやすい。これは要所に配置したアンチバウンスシートへの付着と考えられるのでスカート内に一切シートを設けないほうがよい。2人乗り程度の小型艇ではフルフィンガーでもよいと思われる。スカートの基布の厚さは重量増加となるものの、ある程度厚みを持たせ耐久性の向上を計るようにしたほうがよい。

3) 速力

向かい風の中での運用を考慮すると、氷上で55 km/h かそれ以上の速力性能が望ましい。

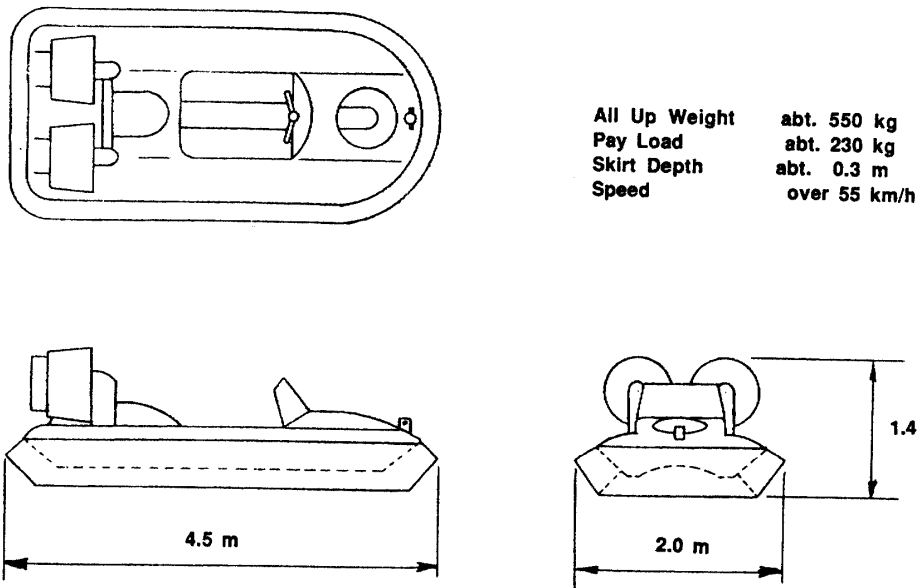


図 26 小型ホバークラフト提案機体
Fig. 26. Proposed small sized hovercraft.

4) 動力

始動性および取り扱いの簡便さを考慮してスノーモービル用空冷エンジンを使用し、エンジンの冷却および燃焼空気にクッション空気の抽気を使用せず、エアフィルターインテークはなるべく雪を吸い込みにくい場所を選ぶ。推進および浮上エンジンは独立に運転できるようにそれぞれ1機を使用する。スロットルはロックつきとする。バッテリーには余裕を持たせ、始動性を確保する。

5) 推進法

現実験艇においては浮上ファンからの加圧空気を一部バイパスしてエアジェットとプロペラを併用したが、操作が複雑になるので小型艇ではプロペラのみの推進とし、低速における推力増加に効果的なダクトプロペラを採用し、凹みからの脱出能力を考慮して推力に余裕のある出力を持つことが望ましい。

6) 操縦システム

現実験艇では方向舵によるエアジェットの偏向・エアジェットの左右推力差・プロペラの左右推力差が利用できたが、海上運航で有効な推力差利用も海氷上では過敏に反応し艇の方向制御が難しく操作が複雑すぎる事が判明した。小型艇では乗員の体重移動による艇体傾斜も操縦の1手段となるので、操縦システムとしては方向舵のみとし推力差は不要であると考えられる。図 26 に提案機体の概要を示す。

8. 結 び

南極用ホーバークラフトの適合サイズ・性能・フリートの運用規模は、観測支援・人員輸送・物資輸送等の用途と運用環境によって大きく異なるであろう。本プロジェクトは当初砕氷船が着岸できない事態に備えてヘリコプターに代わる輸送手段を探る目的で出発したが、その後砕氷船の着岸能力の向上によって観測支援を主な用途とする目的に変更された。しかしながらプロジェクトの目的が南極環境におけるホーバークラフト運用の有効性の評価に焦点があることに変わりはなく、その意味で8年間にわたる南極越冬運用から極めて有用な経験がえられた。

用途を観測支援を目的とする場合に限定すれば2-3人乗りの小型艇による夏期のみ運用が対象となり、取り扱いの簡便さと信頼性が最大の焦点である。運航時にはエンジン・スカート部に対する雪の吸い込みによるトラブルの防止と、万一トラブルが生じた場合の迅速容易な対処の必要性を強調しなければならない。また凹みクレパスにはまったときの自主脱出能力の必要性に関しては、機体重量550 kg程度の小型艇の場合には人力支援の余地が生ずる点で中大型艇と大きな相違があるであろう。

本実験用南極ホーバークラフトは建造当時国内で試作されていた唯一の小型ホーバークラフト（5人乗り）に基づいて計画されたため、浮上推進系・船体構造が複雑化し、艇体重量が増加し、相対的に鈍重な性能となった。観測支援艇として本実験艇の取り扱い性に難点を生じた問題の大部分は当初の計画構想に起因している点が多い。

南極昭和基地のような比較的小規模の基地において観測支援を目的とするホーバークラフトの運用に当たって、オープンタイプのスポーツシレジャー用に多い単純な小型ホーバークラフトを母体とするほうがよいという結論は、ホーバークラフト技術開発の立場からは一見物足りないように思われるであろう。しかしながら小型と地形環境適応性の両立は厳しい条件である。大部分の小型ホーバークラフトはスポーツレジャーの要望に添って決定された仕様によって製造されているので、そのままで南極に適しているとはいえない。独自の南極用小型ホーバークラフトを開発することは費用効果の点で難しいので、一般用小型クラフトの小改造によって対応できるかどうかが問題である。本プロジェクトから得られた経験が生かされることが期待される。補助車輪・そり等の機構を追加することによって地上走行中のスリップを抑制する可能性を図ることは今後の興味ある開発課題となると思われる。

謝 辞

実験用南極ホーバークラフトのプロジェクトは1975年当時の村山雅美極地研究所次長の発案によって開始され、栗野誠一設営専門委員長・兼機械分科会長、村越望機械分科会幹事を中心として推進されたものである。艇の設計・建造に関しては大門康祐三井造船高速艇

設計課長の多大のご尽力を得た。

南極におけるホバークラフトの運航については第 22 次 - 31 次南極観測隊員のご支援が不可欠であったが、特に第 22 次森脇喜一・第 28 次馬場広明・第 29 次山下孝明各隊員には運航の実施及び報告の取りまとめについて特別のご尽力を得た。観測隊員のうちホバークラフトに特に関連があった 24 名の方にはアンケート調査についてご協力を頂いた。ここに付記して深く感謝するものである。

文 献

- DICKINS, D. F. (1989): Arctic transportation. Hovercraft Technology. Economics and Applications, ed. by J.R. AMYOT. Amsterdam, Elsevier, 325-345.
- 村尾麟一 (1991): 南極ホバークラフトの操縦シミュレーションモデル. 日本航空宇宙学会誌, **39** (448), 250-258.
- MURAO, R. and NOJIRI, T. (1985): On the maneuvering simulation of an Antarctic hovercraft, Prep. The 1985 Joint Int. Conf. Air Cushion Tech., Rockville, Md., USA, 49-54.
- 村尾麟一・森脇喜一・村越 望・大門康祐・稲葉 稔 (1985): 実験用南極ホバークラフト. 南極資料, **84**, 36-55.
- ZEITFUSS, W., Jr. and BROOKS, E. N., Jr. (1972): An analysis of desired maneuvering characteristics of large Arctic SEV's. AIAA/SNAME/UNA Advanced Marine Vehicles Meeting, Annapolis, Madison. AIAA Paper 72-600.

(1993 年 11 月 25 日受理)

Appendix 1 南極ホバークラフトの操縦シミュレーション

A1.1. 操縦シミュレーションの必要性

ホバークラフトは自動車・雪上車等の車輪走行と操縦感覚が根本的に異なる。そのため操縦マニュアルによって適切な指示がなされるべきであるが、南極ホバークラフトの同型機は日本に無く、また試験環境も異なるため予め用意することはできなかった。南極ホバークラフトの特性を現地の試験から把握するには、操縦者が運転に習熟していることが望ましいが、操縦特性が明確でないために習熟しにくいという、ニワトリと卵の関係があった。更に南極においては定量的な操縦応答の計測をすることが困難であることも手伝って、1981 年に最高速試験を行った後、何回か試験運転プログラムを計画したにもかかわらず、なかなか定量的なデータがえられなかった。

このような事態に対処するために、試験と平行して南極ホバークラフトのデジタル操縦シミュレーションモデルを開発することを考えた。図 A1 に実験用南極ホバークラフトの浮上・推進操縦システムを示す。操縦シミュレーションモデルを構築するに当たって、南極ホバークラフトにおいてはピッチ・ロール・ヒープ変化が少ないことを考慮して表面摩擦の影響に重点を置いた水平面内 3 自由度の平面運動を取り扱うことにした (図 A2 上) (ZEITFUSS and BROOKS, 1972)。

ACV に働く力は図 A2 下のとおり、プロペラ推力 T 、ジェット推力 F_j 、機体に働く空気

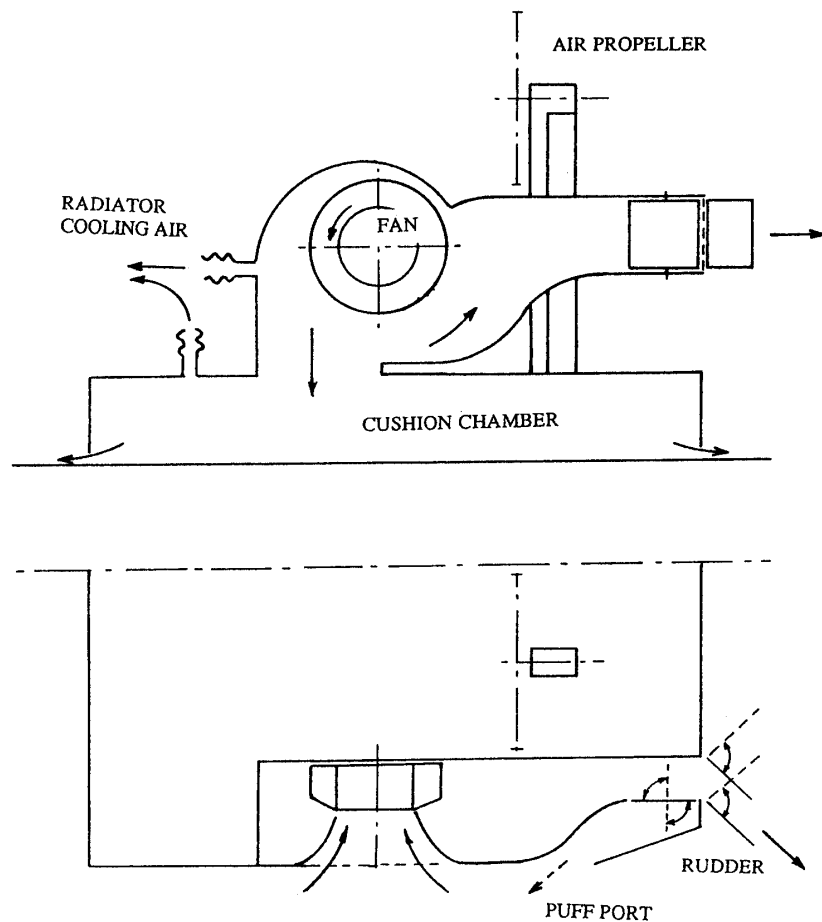


図 A1 南極ホバークラフト浮上・推進システム概要
 Fig. A1. Flow model of lift, thrust and control system.

力 F_a ，運動量抵抗 F_m ，スカート摩擦力 F_s であるが，スカートと地面の摩擦及びドリフトの大きい場合のプロペラ推力については従来ほとんどデータがなかった．そのためスカート摩擦力については南極ホバークラフトの 1/5.37 縮尺模型を用いたドリフト角 0-180 度の曳航実験によって，プロペラ推力については南極ホバークラフト類似の 1/6 プロペラ模型の 0-180 度風洞実験により特性を求めて実験式化した（村尾，1991）．

無風時に水平面内を運動する 3 自由度の運動方程式は，図 A2 の機体軸基準運動座標系に関して下記で表現される．

$$\begin{aligned} m(\dot{V}_x - V_y r) &= F_{xa} + F_{xm} + F_{xs} + F_{xp} + F_{xj} + F_{xt}, \\ m(\dot{V}_y - V_x r) &= F_{ya} + F_{ym} + F_{ys} + F_{yp} + F_{yj}, \\ I_z r &= N_a + N_s + N_p + N_j, \end{aligned}$$

ただし，

m ：機体質量

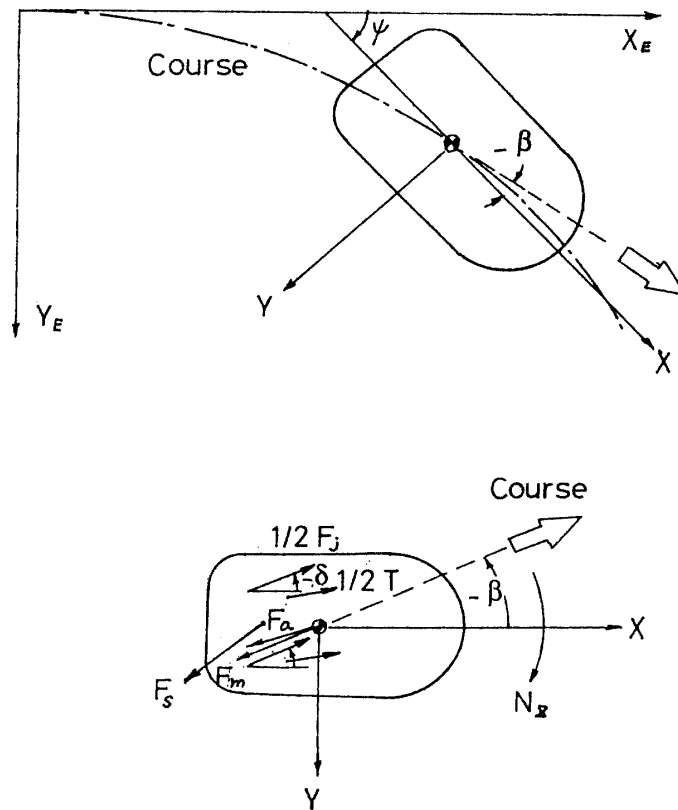


図 A2 ACV 運動座標と機体に作用する力

Fig. A2. Turning geometry. Axis system (upper), Forces and moments acting on craft (lower)

 I_z : 機体 z 軸周り慣性モーメント V_x, V_y : 無風時の速度の x, y 成分

r ：旋回角速度

 F_{xa}, F_{ya} : 空氣抵抗 x, y 成分 F_{xm}, F_{ym} : 運動量抵抗の x, y 成分 F_{xs}, F_{ys} : スカート抵抗の x, y 成分 F_{xp}, F_{yp} : プロペラ推力の x, y 成分 F_{xj}, F_{yj} : ジェット推力の x, y 成分 F_{xt} : トリム抵抗 N_a : 空気力によるモーメント N_s : スカート摩擦力によるモーメント N_j : ジェット推力のモーメント N_p : プロペラ推力のモーメント

このようにホーバークラフトの運動方程式は外力項が多く複雑であることに特徴がある。シミュレーションモデルの構築は外力の表現に帰着する。

空気力に関する3成分は $F_{xa} = C_d (\rho/2) V^2 S_F$, $F_{ya} = C_y (\rho/2) V^2 S_s$, $N_a = (\rho/2) V^2 S_c l_c$ 但し V : 対気速度, S_F : 機体全面面積, S_s : 機体側面積, S_c : クッション面積, l_c : クッション相当長さ, の形に表現し風洞実験から求められた。

運動量抵抗に関する2成分 $F_{xm} = \rho Q_c V_x$, $F_{ym} = \rho Q_c V_y$ (ただし Q_c : クッション流量) は, ホバー時のファン特性からファン回転数, ホバー間隙とクッション圧力が与えられたとき Q_c が求まるので, 容易に推定できる。運動量抵抗の着力点はクッション圧力中心 (機体基準点) 付近であると仮定して, 運動量抵抗によるモーメントは無視した。

ジェット推力はバイパスジェットノズル出口の推力から空気吸込運動量抵抗を差し引いた正味推力 $\rho Q_j (V_j - V)$ を基準としてラダーによる変向ベクトルがラダー部を着力点として作用すると仮定し, 3成分 F_{xj} , F_{yj} , N_j を推定した (MURAO and NOJIRI, 1985)。

スカート摩擦力とプロペラ推力の2成分及びモーメントについては前記の実験式を使用した。

表 A1 南極ホバークラフト停止試験－実験とシミュレーションの比較

Table A1. Stopping distance to hovercraft (comparison between experiments and simulation)

推進機関初期回転数	2000 rpm		3000 rpm	
	実験	シミュレーション	実験	シミュレーション
初速度 (m/s)	9.0	10.6	12.8	15.7
μ		0.03		0.03
停止距離 (m)	315	254	410	408
停止時間 (s)	76	58	79	70

全備重量: 240 kg, 主機関回転数: 4300 rpm, 追風: 2 m/s

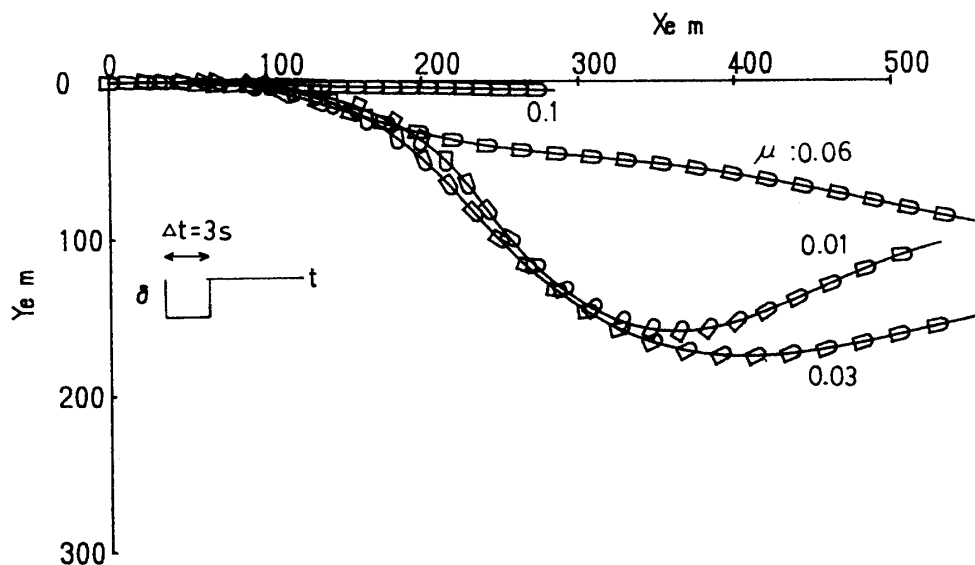


図 A3 ステップ操舵応答—表面表摩擦の影響

Fig. A3. Effects of surface condition on trajectory and craft attitude.

A1.2. シミュレーション計算結果

前記のシミュレーションモデルに基づいて南極ホバークラフトの操縦特性を検討するに先立って、停止性能に関するシミュレーション計算と実機実験結果を比較した（村尾，1991）（表 A1）。停止実験は 100 m 区間で速度を計測した後プロペラをアイドルに、パフポートは逆進にして徐々にファン回転数を落として行われたが、ファン回転数減速の経過が明らかでないのでシミュレーションにおいてはファン回転数が停止操作前後で変化なく一定と仮定した。2 種類の補助推進機関回転数にたいして実測されたデータから $\mu=0.03$ と推定してそのときの初速度、停止時間と停止距離の関係を比較するとほぼ対応している事が認められる。

操縦特性を検討するために、ステップ操舵に対する応答を計算した（村尾，1991）。図 A3 は右舵 3 秒のステップ操舵応答に及ぼす表面摩擦の影響を示す。軌跡は各 2 秒間隔で示

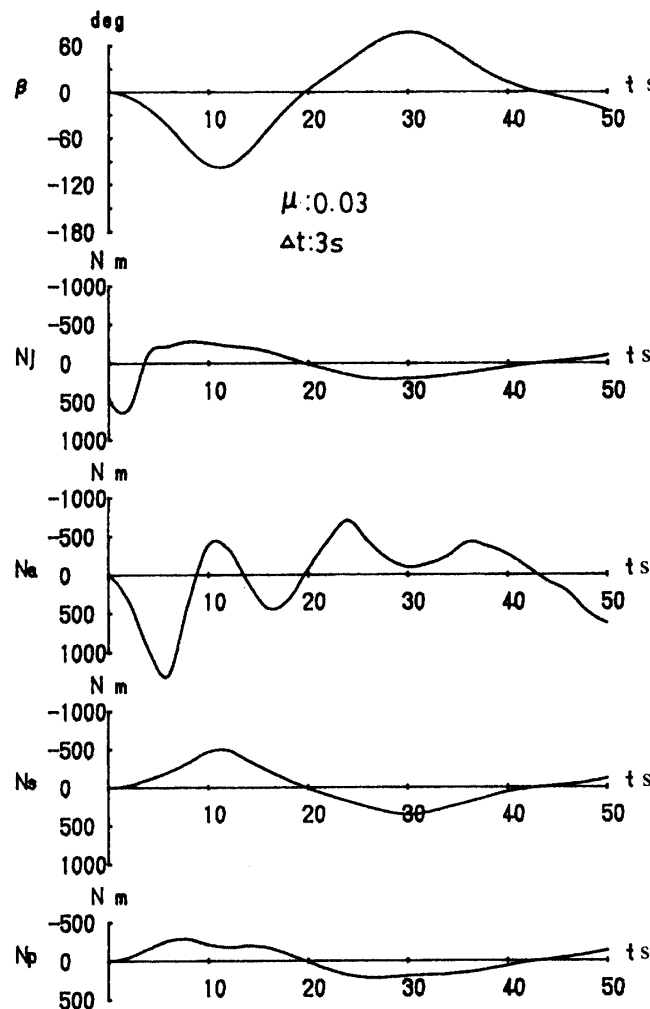


図 A4 ステップ操舵応答—偏角と偏揺モーメント 1

Fig. A4. Components of restoring moment affects to drift angle of craft-1.

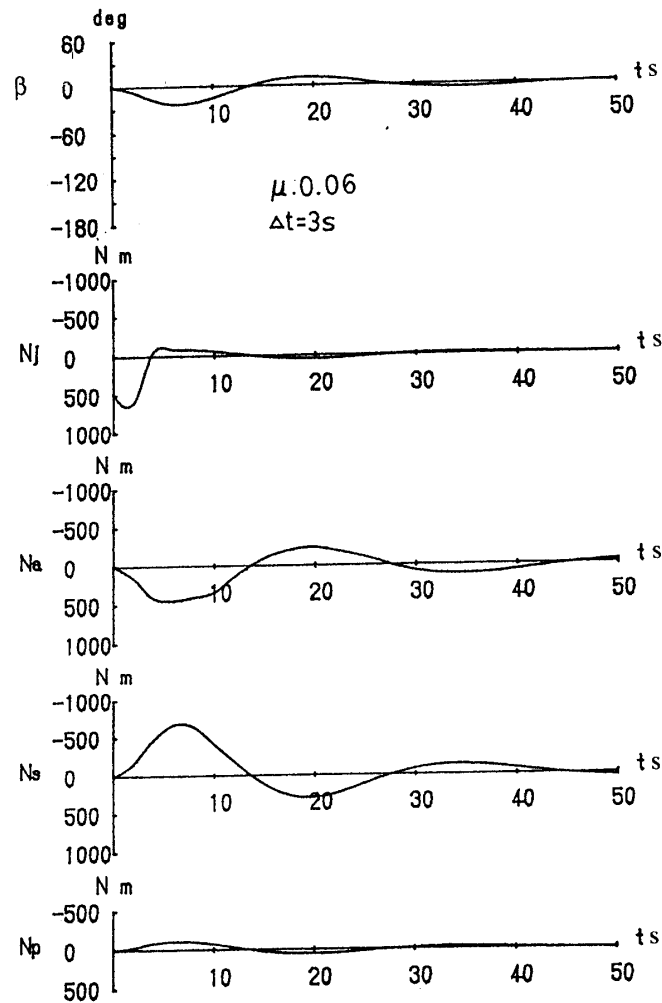


図 A5 ステップ操舵応答—偏角と偏揺モーメント 2

Fig. A5. Components of restoring moment affects to drift angle of craft-2.

してある。摩擦係数が小さい程 Yawing 振幅が増大し、それによっても進路安定性が悪くなる。Yawing を発生するモーメント要因—空気力に基づく風見不安定性、スカート摩擦力に基づく復元モーメント、ジェット推力・プロペラ推力に基づくモーメント—の複雑な寄与の一例を図 A4・A5 に示す。図 A6 は同一摩擦係数の氷面上で、ステップ操縦時間を変化させたときの軌跡である。図 A7 はステップ操舵によって 180 度ターンを行う場合の軌跡を、図 A8 はステップ操舵によってスピンを生じた軌跡の一例である。図 A9 は旋回操舵の一例である（村尾，1991）。

南極において操縦性に関するこれらの計算に対応する軌跡の実験データが得られていないので定量的評価はできないが、これらのシミュレーション計算によって氷上を航行するホバークラフトの停止・加速性能、進路安定性、旋回性能、180 度ターンによる停止、スピンの限界等の特性を把握することが可能になり、最適操舵、自動操舵に対する手掛かりが得られることが期待される。

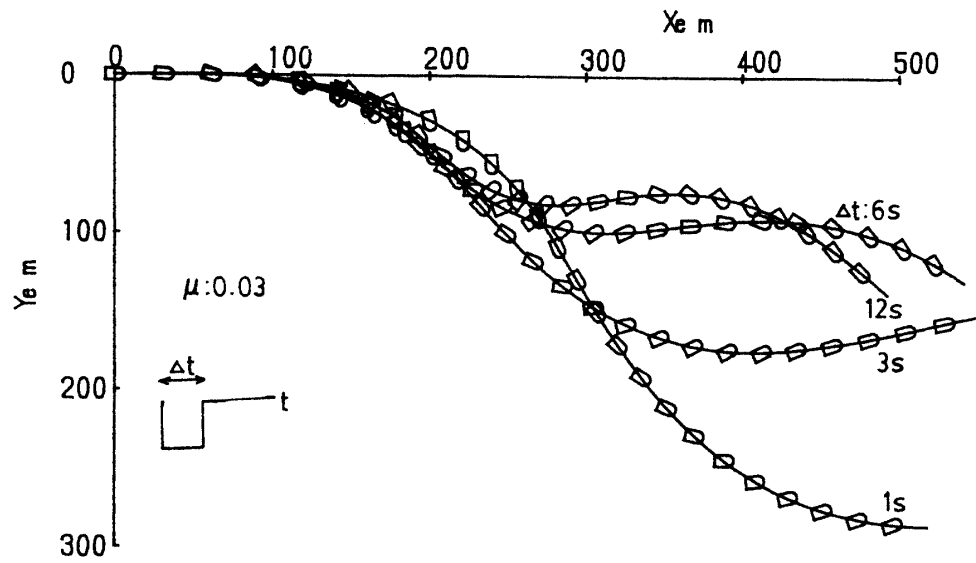


図 A6 ステップ操舵応答—操舵時間の影響
Fig. A6. Effects of steering time on trajectory and craft attitude.

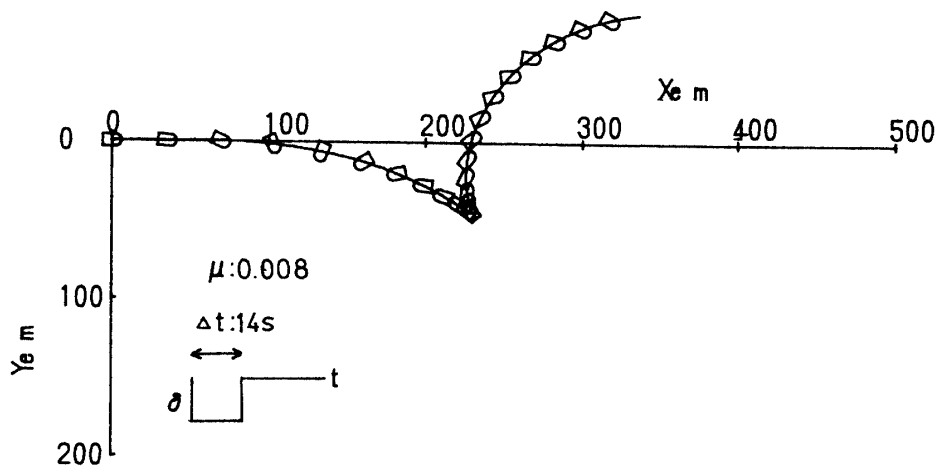


図 A7 ステップ操舵応答—180 度ターン
Fig. A7. Response to pulse steering—180 degrees turn.

Appendix 2 アンケート調査結果とコメント

南極ホーバークラフトの運用試験が終了した後、1990年に南極ホーバークラフトに関係した可能性のある37名にアンケート調査を行い、78% 24名（白紙解答5名を含む）より回答を得た。

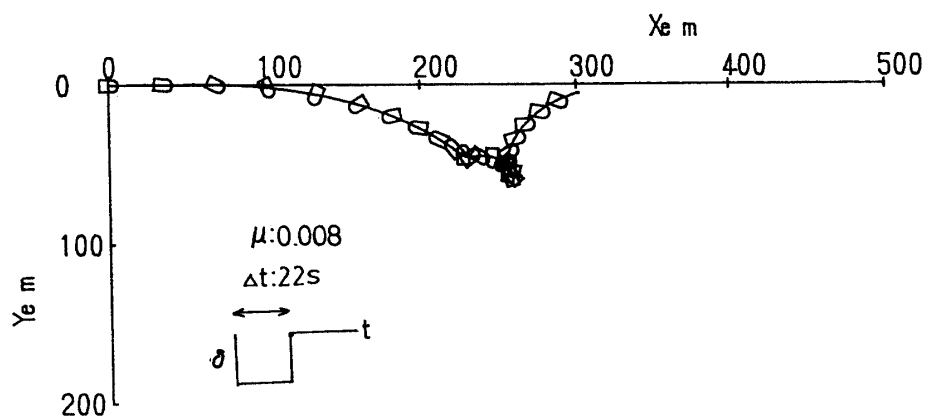


図 A8 ステップ操舵応答—スピン
 Fig. A8. Response to pulse steering-Spin.

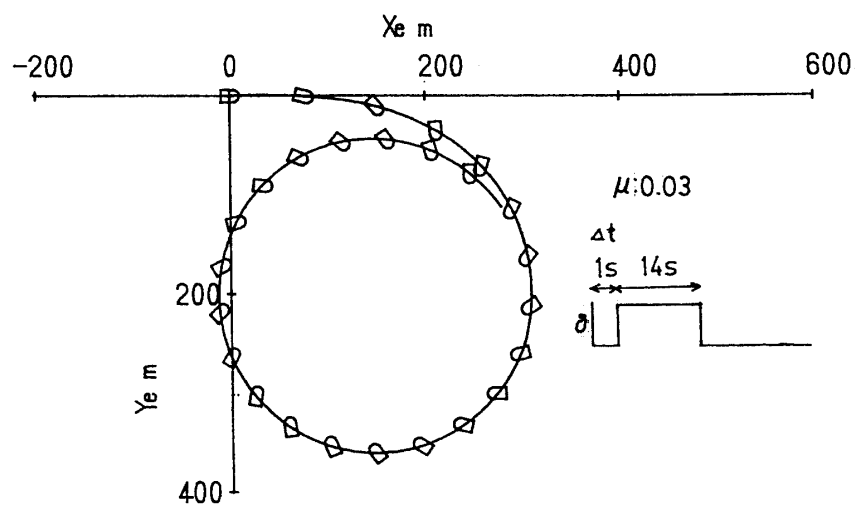


図 A9 旋回操舵列
 Fig. A9. Response to pulse steering-circular turn.

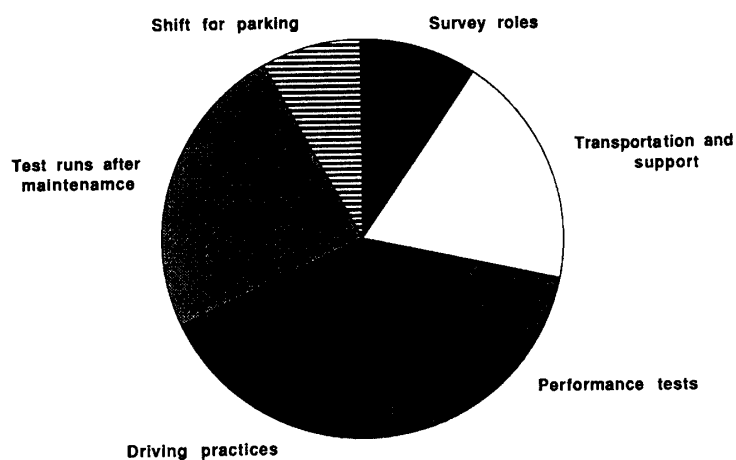


図 A10 使用目的
 Fig. A10. Hovercraft usage.

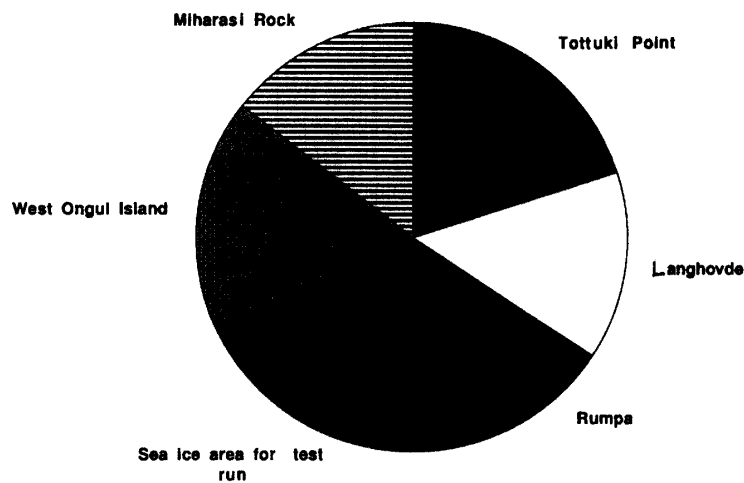


図 A11 運用区域

Fig. A11. Operating area and routes.

その内訳は下記の通りである。ただし（ ）は関わりの度合いの少ない人数

第22次観測隊	設営	(4)	観測	1	研究	(3)
第23次観測隊	設営	(2)	観測		研究	1 (1)
第27次観測隊	設営	(1)	観測		研究	
第28次観測隊	設営	2 (4)	観測		研究	
第22次観測隊	設営	3	観測	1	研究	1
総計	設営	5 (11)	観測	2	研究	2 (4)

アンケート結果から有用と思われる結果とコメントをまとめて図 A10-A22 に示す。

図 A10 使用目的：観測と人員及び器材運搬，性能試験等，本来の評価試験に約 45 % の人が関係し，残りの過半数は操縦練習，整備後の試運転等予備的運用に従事した。

図 A11 運用区域：昭和基地周辺約 5km 付近の地区と，ルンパ島・ラングホブデ・トツキ岩等 15-30km 圏が半々で，試験期間中は特定地域に偏ることなく全般に平均的データが得られたものと思われる。

図 A12 エンジン出力：浮上用主機・推進用補助エンジンとも適切な評価が最も多いが，過大は 0，過小と感じたものは 30 % ある。とくに推進エンジンの出力増大が望まれている。

図 A13 エンジン始動性：浮上用エンジンについては不満が比較的少ないが，推進用エンジンについては始動性について不満がある。これはエアインテークの雪詰りに起因するところが多いと推定される。

図 A14 海氷上走行性：平坦な場合には不満がないが，うねりのある凹凸に対して不満が見られる。

図 A15 風の影響：予想されるように風向きにたいし極めて鋭敏で，とくに横風に弱い

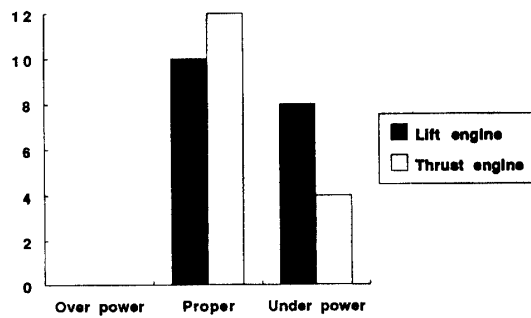


図 A12 エンジン出力の適否
Fig. A12. Engine output.

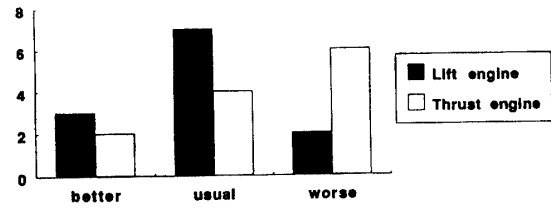


図 A13 エンジン始動性
Fig. A13. Starting easiness.

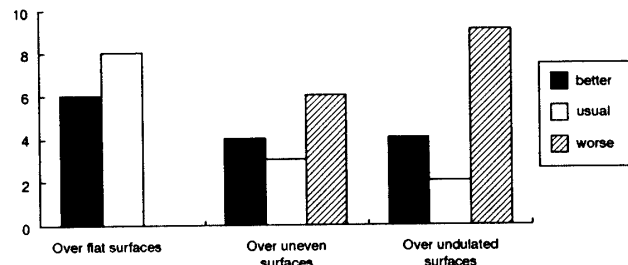


図 A14 海氷上走行性
Fig. A14. Steering performance.

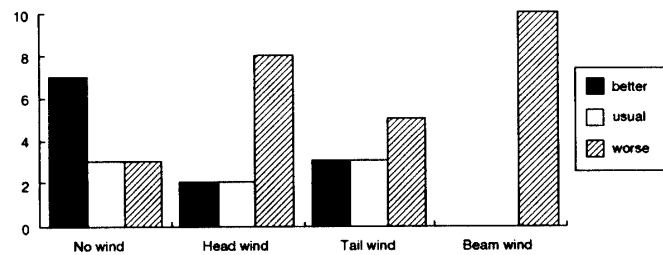


図 A15 直進性に及ぼす風の影響
Fig. A15. Effects of wind direction.

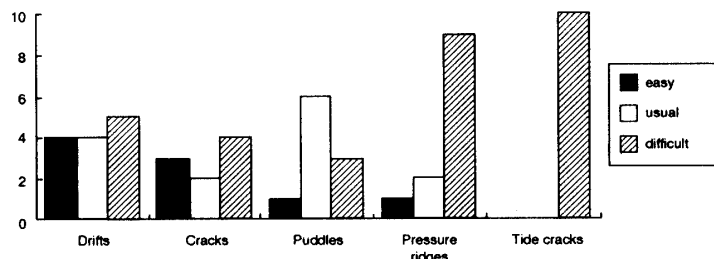


図 A16 障害物乗り越し性能
Fig. A16. Obstacles and crack crossing capability.

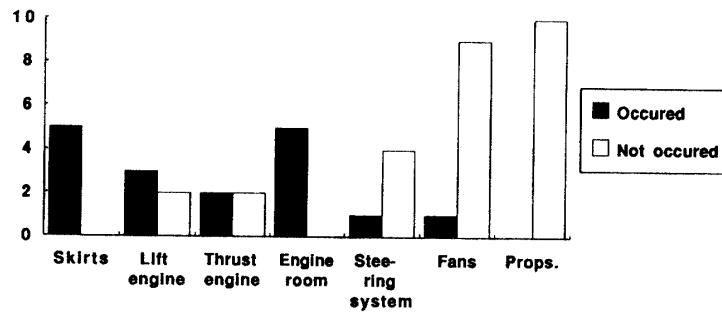


図 A17 雪侵入・付着・氷結

Fig. A17. Snow injection, sticking, icing.

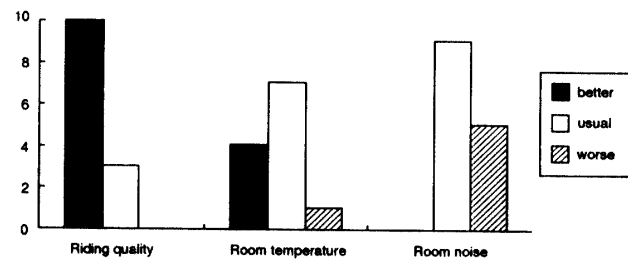


図 A18 居住性

Fig. A18. Cockpit comfort.

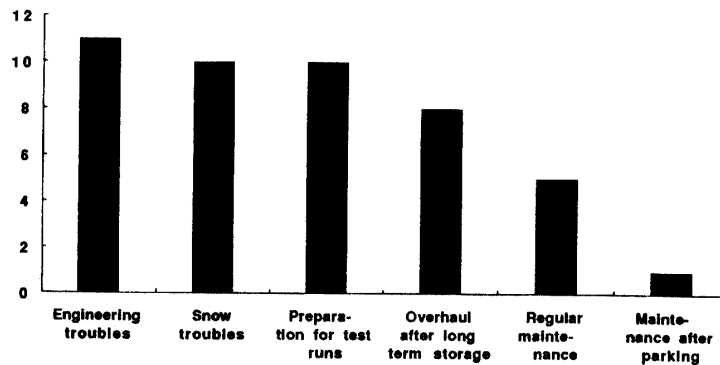


図 A19 整備を必要とした理由

Fig. A19. Reasons formaintenance.

ACV の特性が明かである。機体形状の空力設計に当たって空気抵抗と風向依存性の軽減は重要な課題である。

図 A16 障害物乗り越し性能：ドリフト・クラック・パドルに対しては評価が分かれているが、プレッシャーリッジ・タイドクラック乗り越しは明らかに困難である。プレッシャーリッジはスカート破損の恐れが多いので走行は避けるべきである。タイドクラックは雪で埋めてけん引する必要がある、A12 にも見られるように最大の障害原因となっている。

図 A17 氷雪の影響：雪の侵入・付着によるトラブルはスカート・エンジン・エンジン

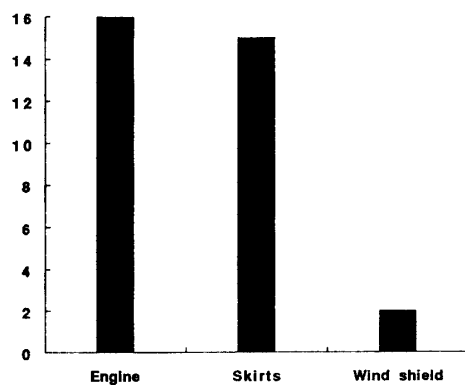


図 A20 整備を必要とした箇所
Fig. A20. Types of maintenance.

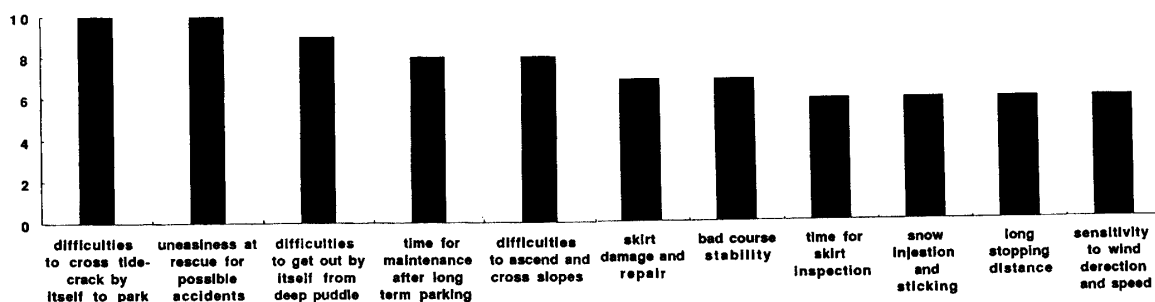


図 A21 運用上重要と感じられた障害
Fig. A21. Important situations interfering with operation.

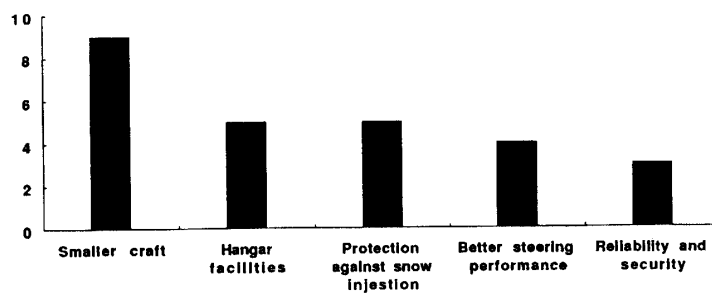


図 A22 将来の要望
Fig. A22. Requirement for future craft.

室・浮力室に見られ、明らかに対策を必要としている。操縦装置・ファン・プロペラに関してはあまり心配ないという結果が得られている。

図 A18 居住性：乗り心地・室内温度ともほぼ満足すべき状態であった。耳元騒音について不満があるがプロペラ推進の性格上雪上車との比較は無理がある。

図 A19・20 整備を必要とした理由と整備箇所：エンジニアリングトラブルが最も多く雪

害が続いている。試験走行のための整備と、定期点検は南極特有のものではないであろうが、長期放置の後始末としての整備は格納保管によって解決すると思われる。整備箇所はほとんどエンジンとスカートに集中している。

図 A21 南極運用における最も重要と感じられる障害について：“デポ地までの経路を自力航走できないので、人力、機械力を必要とする”が再大要因であることが明らかになった。次いで“故障時のレスキューが不安で使えない”は当初から予想されたように複数運用の必要性を明らかにしている。“プレッシャーリッジ等に捕まって抜け出せない”については推進力の向上と、運用区域の制限等による対策が不可欠であろう。長期駐機後の復旧については格納庫保管による予防が必要である。スカート・登坂・コース維持変更の困難・停止しにくい・風向風速に敏感等の特性は ACV 特有のものであり、推力増強・操縦方式改良・空力設計等による設計上の課題を提供している。雪の吹き込み・着氷は南極運用に特有の要因であり動力系設計の課題である。

図 A22 将来の要望：小型化が最も多く、プロジェクト計画当初の大量輸送の要望と正反対の結果になっている。これは勿論「しらせ」の就航に伴う運用目的の変化に起因しているが、試験艇より技術性能レベルの高い中型指向でないところに昭和基地の規模・活動の特徴が現われている。小回りが効く操縦容易な小型艇という要望はレジャー・スポーツ用に近い特性であるが、小型化に伴って障害物乗り越し性能・居住性等が劣化する要因があり、そのトレードオフは南極ホーバークラフトの基本計画に当たって最も重要なキーとなるであろう。

当初からオーニングの必要性が予想されたので、初期には装備実施されたが、南極冬季の強風とオーニングに不向きな機体形状のためにオーニングが破損し途中で断念され、その後青空駐機のやむなきに至った。しかし頑丈な雪上車等と異なりアルミ軽構造でかつスカート等有機材料を多用しているため、長期放置によって予想以上の故障劣化を生じることがわかった。オーニング程度でなく格納庫が必要との要望が多い。